

# EMERGENCIAS RADIATIVAS

Tte. 1<sup>RO</sup> Médico Federico M. Sarmiento

Aristides H. J. Sarmiento

Cnl. Médico (R) Aristides H. Sarmiento

Cnl. Médico (R) Daniel O. Nespral

SERVICIO DE MEDICINA NUCLEAR HOSPITAL MILITAR CENTRAL

## Introducción:

La posibilidad de una emergencia radiactiva ha sido tradicionalmente limitada a accidentes en reactores nucleares o con fuentes radioactivas selladas y no selladas. Se han desarrollado normas y procedimientos para actuar en esas circunstancias.

Independientemente de los procedimientos a seguir en el sitio del accidente que involucra radiación y de las instrucciones generales a la población, no estamos en conocimiento que los Servicios de Emergencia tengan normas y procedimientos definidos que les permita actuar con eficiencia en el caso de que reciban pacientes evacuados expuestos a la radiación.

Es necesario resolver esta falencia pues aunque la posibilidad de accidentes radioactivos es remota, las acciones del terrorismo internacional han puesto de actualidad una nueva situación: la contaminación radioactiva intencional ya sea con artefactos explosivos con capacidad de dispersión de material radioactivo (“bombas sucias”), el uso de fuentes radioactivas selladas en combinación con artefactos explosivos, el atentado a reactores nucleares o en un escenario menos probable, la detonación de una bomba nuclear improvisada.

La radioactividad es un instrumento potencial para acciones terroristas debido no sólo a sus efectos nocivos sino sobre todo por los efectos psicológicos y económicos.

El objetivo de la acción terrorista es lograr el máximo impacto publicitario, el máximo daño económico y alterar el funcionamiento normal de la sociedad, con el menor esfuerzo.

El uso de la radioactividad en actos terroristas es poco eficaz en cuanto a la capacidad de daño a las personas pero tiene enorme potencialidad en cuanto a la repercusión en los medios e impacto económico.

El atentado a las torres gemelas produjo la muerte de muchas personas pero sus efectos secundarios que aún persisten, fueron alterar el transporte aéreo y de personas en general, generar enormes gastos en seguridad, producir graves daños económicos en las líneas aéreas y empresas relacionadas con el turismo, alterar los controles de personas provenientes de países no relacionados directamente con las situaciones en conflicto y finalmente sirvieron para ser utilizadas como excusa para la invasión de dos países.

Gran parte del daño que puede provocar un acto terrorista involucrando radiación puede atenuarse con información y conocimientos adecuados.

*Hay una tendencia a sobrevalorar los efectos y daños producidos por la radiación.* Esta disociación entre riesgo percibido y riesgo real es un incentivo para el uso de material radioactivo como medio para el accionar terrorista.

El tomar a priori excesivas medidas de control o alterar los procedimientos operativos normales en desproporción con el riesgo es facilitar el éxito de la acción terrorista sin que se produzca la acción

La instrucción de la población y del personal sanitario y medidas sencillas de seguridad minimizarán los daños provocados por un atentado radioactivo terrorista.

La preparación del personal médico y paramédico y la organización de los Servicios de Emergencias normalmente no incluyen instrucciones ni entrenamiento referente a accidentes radioactivos. Esta situación debe ser revertida. Si bien la probabilidad de un accidente radioactivo es muy baja, es necesaria una preparación básica que sirva de guía en una emergencia.

Esta revisión es una adaptación de varias publicaciones, la gran mayoría publicadas por organizaciones gubernamentales de EUA.

En el 50avo. Congreso de la Society of Nuclear Medicine de EUA, el tema bioterrorismo implicando radioactividad fue tema de una conferencia especial.

Recomendamos a las personas interesadas en el tema consultar la conferencia del Dr. Royal, Terrorism Using Radioactive Materials, en el 50vo. Congreso de la Society of Nuclear Medicine y completar la información con la bibliografía que se acompaña.

Nuestro objetivo es divulgar conceptos importantes referidos a las emergencias radioactivas de tal forma que en 5 minutos puedan ser repasados y faciliten el accionar en caso de una emergencia.

Adicionalmente se agrega información complementaria y bibliografía para ampliar y profundizar el conocimiento en las áreas que sea necesario.

## UTILIZACIÓN DE MATERIAL RADIOACTIVO CON FINES TERRORISTAS

El uso potencial de material radioactivo con fines terroristas está relacionado:

- con la capacidad de dispersión del material (a mayor facilidad de dispersión mayor riesgo)
- con el tiempo medio de desintegración física (a mayor tiempo mayor riesgo)
- con la accesibilidad (mayor accesibilidad mayor riesgo)
- con el impacto psicológico en la población, divulgación en medios periodísticos y daño económico.

#### **MATERIAL RADIOACTIVO QUE PUEDE SER UTILIZADO CON FINES TERRORISTAS**

- Pequeñas fuentes selladas (como las utilizadas en la industria) (exposición a piel y tejidos blandos).
- Grandes fuentes selladas, transportables (irradiación de semillas con Cesio 137, Unión Soviética – generadores radiotérmicos blindados).
- Material Radioactivo en tránsito.
- Atentado a un reactor nuclear.
- Artefacto de dispersión radioactiva con combustible de reactor o con una gran fuente radioactiva (“bomba sucia”) (modelo del accidente en Goiania Brasil en 1986)
- Bomba nuclear improvisada.
- Bomba nuclear.

#### **PROBABILIDAD DE ATENTADO EN REACTOR NUCLEAR**

- Se ha considerado la posibilidad de un atentado similar al utilizado en las torres gemelas. Dada las características físicas y de construcción de un reactor nuclear, esta posibilidad es muy remota o casi imposible porque el blanco es pequeño, no sobresale en forma significativa de los edificios que lo rodean y está protegido por paredes de acero y concreto). En el laboratorio de Los Alamos (Nueva Méjico EUA), se han hecho tests de colisión de un avión en condiciones edilicias similares a las de un reactor que demostraron la imposibilidad de un atentado exitoso.
- El combustible del reactor nuclear, durante su transporte puede ser un objetivo terrorista pero las barras de combustible están dentro de una vaina y son difíciles de manipular y transportar.

#### **MATERIALES RADIOACTIVOS TRANSPORTADOS**

- La seguridad en su transporte está regulada por la Autoridad Regulatoria Nuclear.
- Pueden ser un objetivo terrorista pero los utilizados en Medicina Nuclear son de muy bajo riesgo por las actividades involucradas y los períodos de semidesintegración. Su uso sería sólo con fines publicitarios y psicológicos. Una población instruída y bien informada invalida el uso de ellos como instrumento terrorista.

#### **«BOMBA SUCIA»**

#### **ARTEFACTO DE DISPERSIÓN NUCLEAR**

- Los materiales radioactivos más peligrosos son los que se encuentran en reactores nucleares. Las medidas de seguridad en áreas de alta radioactividad son mayor que en otros sitios y la sustracción de material radioactivo es muy improbable.
- Hay más probabilidad que los materiales radioactivos utilizados en una “bomba sucia” se obtengan en fuentes de bajo nivel de radioactividad, como las fuentes que se encuentran en hospitales, industrias o plantas de irradiación de vegetales. Estas fuentes radioactivas se usan para diagnosticar y tratar enfermedades, como medio de esterilización, para matar microbios dañinos o inspeccionar piezas industriales.
- El peligro primario de una “bomba sucia” con radioactividad de bajo nivel, será la explosión en sí misma. Calcular cuanta radiación está presente es difícil cuando la fuente de radiación es desconocida. Sin embargo, los niveles de radiación de la mayoría de las fuentes probables que podrían estar presente en una “bomba sucia” no serán suficiente para causar enfermedad grave debida a exposición a la radiación.
- En un informe de las Naciones Unidas se menciona que Irak hizo un test con un artefacto de dispersión nuclear en 1987 pero encontraron que los niveles de radiación fueron muy bajos como para causar daño significativo. Por esa causa, Irak abandonó el uso de tales tipos de artefactos.

#### **BOMBA NUCLEAR**

- Posibilidad tan remota que parece imposible. En el peor de los casos sólo podría ser una bomba nuclear de pequeño tamaño.

#### **CONCEPTOS GENERALES SOBRE LA RADIOACTIVIDAD**

Las emisiones radioactivas no son detectadas por los sentidos. No producen calor, olor, ruido, ni luz visible. Su detección sólo puede hacerse mediante equipos especiales.

La radiación es una forma de energía con la que convivimos todos los días. Estamos expuestos normalmente a la radiación natural que proviene de la tierra, de los rayos cósmicos, de los alimentos e incluso de nuestro propio cuerpo. Los procedimientos médicos son también una fuente de exposición ocasional.

Hay diferentes tipos de radiaciones cada una de ellas con distintos efectos biológicos.

La actividad radioactiva se mide en unidades llamadas curies (o su equivalencia en Becquerels). La exposición de los individuos a la radiación se mide en unidades diferentes, llamadas rems. Es frecuente que las personas

reciban 1/3 de rem (300 mrems) al año como radiación natural.

Dada una emergencia radiológica, es importante conocer el tipo y cantidad de radiación a la que estuvo expuesto el paciente y si la exposición fue interna (se incorporó al cuerpo) o externa (emisión radioactiva desde fuentes externas al cuerpo).

El daño producido por las radiaciones es proporcional a la exposición y varía con el tipo de radiación.

Dosis altas de radiación pueden dañar al DNA celular y matar a las células en forma inmediata.

Dosis más bajas de radiación pueden dañar al DNA y producir cambios celulares que inducen la formación de tumores.

Dosis muy bajas de radiación no producen ningún efecto biológico mensurable y si bien pueden aumentar levemente el riesgo de neoplasias, éste usualmente es muy bajo. Muchas personas reciben radiaciones por motivos laborales, por encima del resto de la población y no sufren daño alguno.

En el caso de una “bomba sucia” (artefacto explosivo con capacidad de dispersión radioactiva) la cantidad de radiación liberada sería de tan bajo nivel que sólo afectaría a la gente en la vecindad inmediata a la explosión.

Un reciente hecho policial, ocurrido en un laboratorio científico en China, puede ser útil a título de ejemplo del potencial uso de las radiaciones con fines criminales. Un científico consiguió pellets de iridio 192 y los ocultó en el cielorraso, sobre el escritorio de otro científico rival, del que deseaba vengarse. Dentro de los 2 meses, la víctima experimentó astenia, decaimiento, cefaleas y vómitos. Sus exámenes clínicos revelaron leucopenia. Otras 70 personas que trabajaban en el mismo laboratorio informaron síntomas de astenia, pérdida de memoria y hemorragias. Se logró descubrir la causa de la misteriosa enfermedad mediante el monitoreo del área con un contador Geiger-Muller (J Nucl Med 2003; 44:42N).

La única forma de detectar la existencia de radiación es con equipos especiales. No se debe interpretar que hay riesgo radioactivo hasta que éste sea confirmado.

En situaciones de accidentes habrá un alerta inicial dada por los equipos de asistencia en catástrofes.

Los hospitales están preparados para la atención de enfermos. En una situación de alarma involucrando radioactividad, muchas personas sanas y sin riesgo alguno concurrirán a los hospitales por temor a estar o haber estado expuesto a las radiaciones. Esta demanda súbita saturaría la capacidad de atención del hospital en desmedro de los pacientes que realmente requieren atención.

Una población bien informada no tendrá pánico y el incentivo de utilizar la radiación como medio terrorista es menor.

El hospital **NO** debe atender pacientes ambulatorios, sin

evidencias de lesiones con el único fin de determinar si están contaminados o no por radiaciones.

Esa misión es responsabilidad de las autoridades gubernamentales que deberán también mantener informada debidamente a la población.

A los pacientes asintomáticos, con sospecha de haber estado expuestos a la radiación se le indicará que concurren a sus casas, cambien sus ropas y se duchen. No es misión del hospital efectuar la descontaminación de cientos de personas que pueden hacerlo en mejores condiciones en sus propias casas.

Los accidentes nucleares y las bombas de Hiroshima y Nagasaki son la base de conocimiento y experiencia sobre la forma de actuar y conducirse en exposiciones masivas a la radiación.

En 1986 en la ciudad de Goiania, Brasil, una fuente sellada de fluoruro de cesio 137, abandonada, fue encontrada y manipulada con el fin de obtener algún beneficio económico, con desconocimiento del riesgo involucrado. La situación se agravó porque se abrió la fuente, se dispersó el fluoruro de cesio e incluso hubo personas que se empolvieron la piel de la cara y brazos con el material porque notaron que brillaban en la oscuridad.

En una población de 1.000.000 de habitantes, hubo que hacer el monitoreo radioactivo a 112.000 personas (más del 10% de la población). Se encontró sospecha de contaminación en 249 personas (0.22%) y contaminación confirmada en 49 (0.04%). 22 personas fueron internadas en la Unidad de Cuidados Intensivos, 4 murieron y en 1 se le amputó el antebrazo.

La lección de este accidente (además de la irresponsable y delictual negligencia en la manipulación de los desechos radioactivos) es que el 99,96% de la población que concurrió a los hospitales con temor a estar contaminada, no lo estaba.

#### **EFFECTOS A LARGO PLAZO DE LAS RADIACIONES**

El daño producido por la exposición a la radiación puede ser inmediato cuando las dosis son muy altas. Las alteraciones se observan días o semanas post-irradiación causando el síndrome agudo de radiación o daños severos en los órganos más expuestos (generalmente la piel y tejidos blandos).

A dosis menores, se produce alteraciones celulares que se manifiestan a largo plazo. La principal de ellas es la inducción de tumores. El riesgo de mortalidad por cánceres provocados por la exposición a radiaciones es real pero debe ser enfocado en su real perspectiva.

En Hiroshima y Nagasaki hubo 120.000 sobrevivientes. La incidencia de cáncer en la población general fue del 20%. En la población expuesta a la radiación fue de 21,6% (8% de aumento con referencia a la incidencia de cáncer en la población general).

En valores numéricos, significa que 24.000 personas morirán por cáncer en la población general y 25.920 en la población expuesta a la radiación o sea un exceso de muertes por cáncer de 1.920 personas (1.6% de aumento de mortalidad por cáncer).

Del número total de muertes por cáncer ocurridas en los sobrevivientes de Hiroshima y Nagasaki, durante el período 1950-1987, sólo 300 pueden ser atribuidas a la radiación (aunque no pueden ser identificadas en forma individual) (United Nations Scientific Commission on Effects of Atomic Radiation – UNSCEAR).

En Chernobyl hubo aumento de la incidencia de cánceres y nódulos tiroideos en los niños expuestos. La exposición se debió en 90% a Iodo 131 y en 90% de los casos a la ingestión de leche contaminada con Iodo 131. La población no fue protegida con yoduro de potasio ni se restringió el consumo de alimentos contaminados. No hubo aumento de la incidencia de otros cánceres.

*El riesgo de inducción de cáncer por la exposición a la radiación es real pero mucho menor de lo que se cree. Una vez conocido el riesgo de exposición a la radiación, el temor percibido es muy superior al riesgo real.*

El temor percibido a la radiación, desproporcional al riesgo puede ser casi tan dañino como el desprecio o la ignorancia de los efectos de la radiación porque sobrecarga las instituciones de atención médica y distrae dinero y recursos.

#### **INCIDENCIA DE CÁNCER TIROIDEO COMO CONSECUENCIA DE LA IRRADIACIÓN TIROIDEA EN NIÑOS MENORES DE 14 AÑOS:**

- En Chernobyl hasta 1989 había una incidencia de aproximadamente 10 nuevos cánceres tiroideos por año. En 1990 la incidencia aumentó a 40 casos/año, en 1992 a 80 csos/año y en 1995 la curva se estabilizó en aproximadamente 130 nuevos cánceres tiroideos por año, lo que implica un aumento de 10 a 13 veces la incidencia previa a la irradiación.
- Se conoce desde hace años que la radiación externa, aún a bajas dosis aumenta la incidencia de nodularidad y cánceres tiroideos. Los más vulnerables son los niños. El accidente de Chernobyl y experiencias previas con el fallout en el atolón de Bikini confirman que también el radioiodo en bajas dosis es un agente carcinógeno sobre la tiroides.
- Se ha comprobado que el uso de radioiodo en altas dosis, terapéuticas, para el tratamiento del hipertiroidismo no produce aumento de la incidencia de cánceres tiroideos pero la experiencia con su indicación en niños es limitada.
- El efecto carcinogénico sobre la tiroides de las radiaciones en general y del iodo 131 en particular, se conoce desde hace largo tiempo y es uno de los motivos por los cuales el iodo 131 dejó de usarse en el centelleograma tiroideo en la década del setenta.

*Las conclusiones es que el cáncer cuya relación con las radiaciones está absolutamente comprobado, es el cáncer tiroideo. Debe prevenirse la irradiación tiroidea aún a bajas dosis.*

Hay tres tipos de situaciones diferentes (pueden combinarse) que deben ser identificadas y que pueden combinarse:

- paciente expuesto a radiación externa
- paciente con contaminación radioactiva externa (piel, heridas, ropa)
- paciente con contaminación interna (incorporación de material radioactivo a su cuerpo)

#### **PACIENTES EXPUESTOS A RADIACIÓN EXTERNA**

- a.El paciente expuesto a irradiación externa sin contaminación radioactiva no representa ningún riesgo y es tratado como un paciente convencional. No se detectará radiación en el monitoreo. La situación es equivalente al paciente que concurre al Servicio de Radioterapia para un tratamiento. La radiación actúa mientras está en la sala de radioterapia. Fuera de ella el paciente no tendrá radioactividad y no representará riesgo.
- b.La radiación que recibió durante el tratamiento no requerirá ninguna atención médica y el paciente tampoco tendrá síntomas ni signos. Las alteraciones producidas por la radiación se manifestarán al cabo de cierto tiempo y sus manifestaciones dependerán de la dosis de radiación y el órgano u órganos afectados.
- c.Los pacientes asintomáticos, expuestos a radiación externa no requieren ninguna acción médica en los primeros días. Se les debe informar de los efectos de la radioactividad, cosa que puede hacerse entregándoles información impresa y citándolos para controles médicos de seguimiento.
- d.Esto permitirá que en una situación de emergencia, las personas con dudas y temor por el efecto de las radiaciones no sobrecarguen los servicios de urgencia e interfieran con la atención de los pacientes que requieran atención urgente.
- e.*El cuidado médico de los heridos no debe demorarse basándose en temores infundados sobre contaminación radioactiva.*
- f.Hay dos errores conceptuales que pueden afectar la respuesta médica ante una emergencia:
  - la idea de que las víctimas son altamente radioactivas.
  - la idea de que tratar a un paciente que ha estado expuesto a las radiaciones requiere precauciones extraordinarias o facilidades especiales.

## CONTAMINACIÓN EXTERNA CON RADIOACTIVIDAD SOBRE LA PIEL O LA ROPA:

### *Ver Anexo 2*

Los criterios de contaminación determinados por la EPA (Energy Protection Agency EUA), consideran que existe contaminación cuando la exposición es 3-4 mrem/año, lo que se traduciría en un aumento de la mortalidad de 1 cada 10.000 personas.

El background natural produce una exposición de 100 mrem/año. En ciudades ubicadas en alturas la radiación cósmica causa un aumento de 100 mrem o más en la exposición natural adicional, sin que hayan evidencias de aumento de la incidencia de mortalidad.

Este exigente criterio de contaminación requerido por la EPA se debe a que hay miles de carcinógenos naturales y ambientales y la suma de su efecto podría tener efectos biológicos.

La contaminación externa estará no sólo en el cuerpo del paciente sino también en los objetos circundantes y el suelo.

La remoción de las ropas y calzado reducirá la contaminación en más del 90%.

El riesgo de que los pacientes con contaminación externa causen algún daño al personal sanitario es prácticamente despreciable.

*No debe demorarse la atención de los pacientes graves en la presunción de la existencia de contaminación radioactiva. Las medidas médicas primarias deben tener por objetivo mantener libres las vías respiratorias, la estabilización hemodinámica de los pacientes y el tratamiento de sus lesiones traumáticas y quemaduras.*

*Una vez que el paciente está estabilizado medicamente, es muy fácil determinar con instrumentos especiales si hay contaminación radioactiva o no.*

*La contaminación radioactiva externa no es diferente de la contaminación con suciedad. Las medidas de decontaminación radioactiva son esencialmente las mismas que se utilizan para la limpieza normal.*

En el accidente del reactor nuclear de Chernobyl, 600 personas de auxilio concurrieron al sitio del siniestro. 237 fueron evaluadas por síndrome agudo de radiación. 134 tuvieron el síndrome.

29 bomberos murieron debido al síndrome agudo de radiación entre 10 y 96 días después del accidente.

No hubo ningún caso de síndrome agudo de radiación fuera del área del siniestro.

*La conclusión es que para las personas fuera del área del siniestro, el riesgo producido por la radiación es muy bajo*

*En caso de acciones terroristas el personal sanitario debe tener en cuenta no sólo el riesgo de las radiaciones*

*sino también la posibilidad del uso de agentes contaminantes adicionales (gases tóxicos, contaminación bacteriológica o con toxinas) y debe adoptar las medidas de precaución consecuentes.*

## CONTAMINACIÓN INTERNA POR INHALACIÓN, INGESTIÓN O INGRESO POR LA PIEL Y HERIDAS DE MATERIAL RADIOACTIVO

En los pacientes con contaminación interna, las medidas a adoptar dependerán del tipo de radionucleido, puerta de entrada y grado de exposición. Raramente son de riesgo para el personal que lo atiende.

La experiencia con pacientes tratados con material radioactivo en fuentes no selladas ha demostrado que el riesgo para las personas que los atienden es muy bajo siempre que se use ropa de protección y los procedimientos adecuados. Los patólogos que hicieron autopsias en cadáveres contaminados internamente recibieron menos de 5 mSv (0.005 Gy – 0.5 rads).

La metralla contaminada es un riesgo potencial importante para el personal de auxilio. Puede proceder de fuentes radioactivas metálicas o del núcleo del reactor. Estas fuentes probablemente emitirán radiación gamma muy penetrante. Los cadáveres altamente radioactivos probablemente procedan de cerca del centro de una explosión. La radiación del personal de auxilio es función directa de la distancia del cuerpo y en algunas circunstancias podría exceder los límites ocupacionales. Es esencial la evaluación por personal de seguridad radiactiva. Los objetos radioactivos metálicos serán manipulados con pinzas, nunca con la mano y se colocarán dentro de recipientes de plomo, debidamente identificados y en un sitio alejado del tránsito de personas

Los accidentes masivos implican una problemática especial que está fuera del alcance de los objetivos de estas instrucciones.

### EVALUACIÓN DE LOS PACIENTES

*El tratamiento de las lesiones traumáticas debe siempre tener precedencia sobre las medidas de protección de la contaminación radioactiva o exposición. Las personas traumatizadas deben ser estabilizadas medicamente y si es posible evacuadas inmediatamente a una institución médica.*

La evaluación radiológica de los pacientes heridos incluye las mediciones de radioactividad y la obtención de información que es relevante al tratamiento y decontaminación de los pacientes.

El número de personas **NO** afectadas que pueden presentarse para su evaluación después de una liberación de radiación intencional o accidental hace razonable considerar el uso de detectores Geiger-Muller con ventana terminal para el monitoreo rápido. Aquellas personas sin evidencias de contaminación pueden ser dadas de alta temporariamente.

La evaluación de las dosis recibidas por los individuos afectados se basa en: dosimetría física, reconstrucción del accidente, marcadores biológicos y examen clínico.

En dosis mayores de 0,25 Gy a cuerpo entero (25 rads) y mayores de 1.0 Gy (100 rads) a las extremidades, el tratamiento de los pacientes dependerá de la dosimetría biológica y la respuesta de los tejidos (tiempo de comienzo de los síntomas, severidad de las quemaduras de la piel, depresión de la médula ósea).

Si la naturaleza de la fuente radioactiva puede ser identificada con seguridad, los antecedentes de la exposición pueden ser suficientes como para dar un estimado razonable de la dosis.

*Hay una correlación entre el tiempo luego de la exposición en que ocurre el primer vómito y la cantidad de dosis absorbida. Una fórmula relaciona el tiempo del primer vómito y dosis recibida:*

$$y = a(x) \exp - b$$

y = tiempo en que ocurre el primer vómito post-irradiación

x = dosis a cuerpo entero en Gy

$$a = 4.47 \pm 0.16$$

$$b = -0.57 \pm 0.04.5$$

$$X \exp 0,57 = 4.47 / \text{ tiempo en que ocurre el primer vómito en horas}$$

*Si hay sospechas de contaminación radioactiva, aleje del área a los pacientes medicamente estables y no los evacúe hasta que se haya hecho un monitoreo radioactivo. Si existiera contaminación debe intentarse una decontaminación primaria en el sitio. Recuerde que la remoción de las ropas exteriores y el calzado reduce en un 90% la contaminación radioactiva externa.*

*Tome medidas preventivas para evitar la contaminación interna (ingreso al cuerpo de material radioactivo, generalmente por mucosas y piel).*

El instrumento utilizado para el monitoreo radioactivo debe ser sensible a radiación penetrante (gamma) y no penetrante (beta). Un instrumento adecuado es el contador Geiger-Muller con una ventana terminal de material poco absorbente de la radiación (sin la tapa metálica).

*Proteja al detector con una bolsa plástica o un guante para prevenir su contaminación.*

Utilizando un contador Geiger se pueden controlar entre 30 y 60 pacientes/hora.

Los contadores Geiger con ventana lateral tienen baja sensibilidad y no deberían ser utilizados.

Deben registrarse los siguientes datos:

1. Nombre del paciente
2. Nombre de la persona que hace el monitoreo
3. Hora, día y lugar del monitoreo
4. Instrumento utilizado y número de serie
5. Distribución de la radioactividad y ubicación de las heridas

## PRECAUCIONES PARA EL PERSONAL QUE ACUDE AL SITIO DEL SINIESTRO

### DOSIMETRÍA FÍSICA PARA LOS PRIMEROS EN ACUDIR AL SITIO DEL SINIESTRO

Serán provistos por las autoridades gubernamentales. Permitirán calcular un estimado de la dosis absorbida individual.

Dosímetros de lectura directa de bolsillo o tipo lápiz (DLD), dosímetros termoluminiscentes (TLD) y dosímetros basados en películas radiográficas (DPR)

Los dosímetros de lectura directa son fáciles de usar y dan una medida instantánea de la exposición acumulada. Sus limitaciones es que no brindan un registro permanente, su escala puede alterarse por un golpe o caída sobre una superficie dura y son menos seguros que los dosímetros termoluminiscentes o con placa radiográfica.

Los dosímetros termoluminiscentes y con placa radiográfica tienen la limitación de que la exposición recibida sólo se conoce en forma retrospectiva. Permiten un registro permanente de la exposición.

Los TLD pueden almacenar la información por meses y son reusables pero no dan información sobre la energía de la radiación incidente.

Los DPR son menos sensibles que los DTL pero pueden brindar estimados de la energía de radiación y de la dosis absorbida.

Los TLD y DPR deben ser protegidos de la exposición directa de los pacientes contaminados.

En la mayoría de los accidentes radioactivos es prudente utilizar en forma combinada dosímetros de lectura directa (DLD) y dosímetros de lectura tardía (TLD o DPR).

Dosímetro	Registro instantáneo	Sensibilidad a golpes	Registro permanente	Reusable	Discrimina energía de radiación
DLD	Si	Alta	No	Si	No
DTL	No	Baja	Si	©	No
DPR	No	Baja	Si	No	No

DLD = dosímetros de lectura directa

DTL = dosímetros termoluminiscentes

DPR = dosímetros con placas radiográficas

### DECONTAMINACIÓN DE LOS PACIENTES

Es excepcional que la contaminación radioactiva a la piel o heridas sea una amenaza para la vida del paciente o el personal médico. *La primera prioridad es el tratamiento convencional de las injurias traumáticas.*

Los pacientes son decontaminados sólo después de estabilizarlos medicamente.

En una situación ideal, los pacientes se decontaminarían en la escena del incidente y antes de su evacuación.

Como esto no siempre es posible, los hospitales de recepción de los pacientes evacuados deberán tener planes operacionales para la decontaminación.

La remoción de las ropas exteriores y el calzado puede reducir el 90% de la contaminación.

La ropa contaminada se almacenará en bolsas plásticas identificadas con los datos personales del paciente, fecha y hora y si dispone de la información, los resultados de la medición de la radiación medidas con un equipo apropiado y el lugar donde estaba el paciente en el momento del escape radioactivo. Las bolsas se almacenarán en un lugar alejado del tránsito de personas.

La contaminación residual se evaluará con un detector de radiación alrededor del cuerpo.

La decontaminación de la piel disminuye el riesgo de daño dérmico agudo, reduce el riesgo de contaminación interna y reduce el riesgo de contaminación del personal médico y del ambiente. Antes de decontaminar, se cubrirán las heridas abiertas y las soluciones de continuidad de la piel. Para decontaminar, se lavará la piel y cabello.

*El agua y jabón es 95% efectivo porque el jabón emulsifica y disuelve la contaminación.*

El cepillado suave (sin dañar ni irritar la piel) remueve parte de la capa córnea y separa a la contaminación que pudiere estar fijada físicamente a las proteínas de la piel. La capa córnea de la piel es reemplazada cada 12-15 días y toda aquella contaminación que no es removida inicialmente y no es absorbida por el cuerpo, se desprenderá con la capa córnea en unos pocos días.

El objetivo de la decontaminación es remover lo más suavemente que se pueda tanta contaminación como sea posible, sin dañar la piel.

El objetivo de la decontaminación se logra cuando con el control dosimétrico, la actividad no supera el doble de la actividad de fondo (“background”). Si luego de tres lavados no se logra este objetivo y los intentos de decontaminar reducen la contaminación menos de un 10%, se suspenderán los esfuerzos por decontaminar y el paciente será manejado con las mismas precauciones que se utilizan para un paciente potencialmente infeccioso.

*Para evitar errores en la medición de la radiación, asegúrese de usar siempre la misma distancia entre el detector y el paciente en las sucesivas mediciones.*

En la emergencia, es probable que la cantidad de pacientes a atender y el estado clínico de los mismos impida usar duchas especiales. En ese caso, el líquido de lavado de la decontaminación puede ser descartado en el sistema cloacal, a menos que haya medios para almacenarlo en recipientes en lugares separados del tránsito de personas.

## TÉCNICAS DE DECONTAMINACIÓN

- Remueva las ropas y calzado.
- Cubra y proteja las heridas y las soluciones de continuidad de la piel antes de comenzar la decontaminación.
- Evite daño innecesario a la piel. Interrumpa el lavado antes que haya abrasiones.
- Utilice agua y jabón.
- Para el pelo **NO** use acondicionadores porque se fijan al cabello y hacen más difícil la decontaminación.
- *La forma más sencilla de decontaminar el pelo es cortándolo. No depile ni afeite las cejas porque pueden no volver a crecer.*
- Si no tiene aparatos para medir la contaminación residual, haga dos lavados de decontaminación y luego cubra al paciente con camisolín cerrado y gorra cubrecabezas.
- La contaminación rebelde que persiste en las extremidades frecuentemente disminuye con la transpiración.
- Soluciones de limpieza sugeridas:
  - Agua y jabón
  - Agua y yodo povidona
  - Limpiador y detergente hexaclorofeno al 3% en agua

## DECONTAMINACIÓN DE HERIDAS

Toda solución de continuidad de la piel puede favorecer el ingreso al cuerpo del material radioactivo y producir contaminación interna. *Evite que las soluciones de limpieza tomen contacto con las heridas.*

La decontaminación de las heridas se hace siguiendo los mismos procedimientos que se usan para tratar una herida “sucias”, con contaminantes bacteriológicos o partículas.

Si la herida tiene metralla contaminada, los objetos metálicos que se remuevan y sean radioactivos, se manipularán con pinzas y se colocarán recipientes plomados o a una distancia de al menos 2 metros de las personas.

El costo de la decontaminación es muy bajo pero exige mucho trabajo. Un equipo de cuatro personas puede decontaminar aproximadamente 6 pacientes no ambulatorios en una hora. Utilizando duchas, se pueden decontaminar 20 personas ambulatorias por hora.

Debe tenerse en cuenta que en el caso de un aparato de dispersión radioactiva puede ser necesario decontaminar a más de 1.000 personas y en el caso de una explosión nuclear improvisada las personas que se presenten para decontaminación pueden superar a las 100.000.

## CONTAMINACIÓN INTERNA

1. Se llama contaminación interna cuando el material radioactivo ingresa dentro del cuerpo por inhala-

ción (pulmones), aparato digestivo (agua, alimentos), la piel o heridas.

2. Cuando la condición del paciente lo permite proceda a la decontaminación externa para prevenir la contaminación interna y la exposición del personal médico.
3. Obtenga frotis nasales con hisopos y consérvelos en tubos de ensayo para su análisis posterior. Identifíquelos con datos del paciente, fecha y hora. Si hay radioactividad dentro de la nariz hay alta probabilidad de inhalación de material radioactivo.
4. Obtenga muestras de orinas y heces, para su análisis posterior. Identifíquelas con los datos del paciente, fecha y hora.

#### TRATAMIENTO DE LA CONTAMINACIÓN INTERNA

Objetivo: Reducir la dosis de radiación a los órganos afectados y el riesgo biológico de los efectos de la radiación

#### MÉTODOS

1. Prevenga la contaminación interna con los procedimientos de decontaminación externa.
2. Reduzca la absorción del material radioactivo y su depósito en los órganos blanco (\*)
3. Aumente la eliminación del material radioactivo que hubiera ingresado al cuerpo.
4. Tenga en cuenta la radioactividad y toxicidad de los radionucleidos incorporados. El estimado de riesgo debe combinar el juicio profesional con la probabilidad estadística de que se produzcan enfermedades inducidas por radiación durante la vida del paciente.
5. Si la decontaminación implica riesgo o efectos colaterales, su beneficio debe ser cotejado con los efectos a corto y largo plazo de la contaminación sin tratamiento.

#### TRATAMIENTOS INMEDIATOS POTENCIALES INCLUYEN

Administración de yoduro de potasio (IK) si el radioiodo es uno de las materiales contaminantes.

Lavado gástrico hasta que los lavados estén libres de material radioactivo (actividad medida no mayor que el doble de la actividad de fondo). El lavado gástrico sólo está indicado en los casos de ingesta única de material radioactivo y dentro de la 1 o 2 horas de la ingestión.

Si hay ingestión de radionucleidos, indicar antiácidos (hidróxido de aluminio/carbonato de magnesio) que reducen la absorción gastrointestinal del estroncio en un 50-85%.

Si se sospechan ingestiones importantes de material radioactivo pueden indicarse laxantes para acelerar el tránsito intestinal o enemas que vaciarán el colon en unos pocos minutos. El sulfato de magnesio se combina con algunos radionucleidos (como el radio) produciendo

compuestos sulfatos insolubles.

Si la contaminación interna es con tritio, el tratamiento es sobrehidratación.

Las contaminaciones con plutonio y elementos transuránicos se tratan con agentes quelantes (diethyltiaminopenacetato de calcio o zinc).

En el caso de ingestión oral de estroncio se administra fosfato de aluminio o bario por boca.

(\*) El material radioactivo que ingresa al cuerpo no se distribuye en forma uniforme y algunos órganos son más afectados que otros. Se llama órgano blanco al más afectado por una determinada molécula radioactiva.

#### TRATAMIENTO MEDICO INICIAL

#### CLASIFICACIÓN (“TRIAGE”) MÉDICA

Las víctimas deben ser evaluadas desde el punto de vista médico y traumatológico, antes de cualquier consideración referente a exposición a la radiación.

#### CLASIFICACIÓN (“TRIAGE”) RADIATIVO

Tiempo entre exposición y comienzo de los vómitos

1. Si el paciente tiene vómitos antes de las 4 hs de la exposición, debe ser internado para su evaluación inmediata.
2. Si los vómitos ocurren después de las 4 hs de la exposición los pacientes pueden ser evaluados entre 2 y 3 días después, si no tienen otras patologías concurrentes.
3. Los pacientes que tienen vómitos producidos por la radiación dentro de la hora de la exposición requieren de urgente y prolongada atención médica y puede esperarse una alta mortalidad. Se calcula que la dosis que han recibido sería de entre 5 y 11 Gy (500 a 1100 rads) con un valor medio de 6,5 Gy (650 rads)

DOSIS EN Gy	1 <sup>er</sup> . VÓMITO MENOS DE 4 HORAS	1 <sup>er</sup> . VÓMITO MÁS DE 4 HORAS
25%	2,5 Gy	0,5
Dosis promedio	3.6 Gy	0,9
75%	> 6,0 Gy	1,7

Los pacientes que vomitan después de 4 horas de la exposición a la radiación tendrán en el peor de los casos un síndrome leve de radiación. (Department of Homeland Security Working Group on Radiological Dispersal Device (RDD) Preparedness Medical Preparedness and Response Sub-Group)



## CONSIDERACIONES MÉDICAS INICIALES

1. Rápida clasificación de los pacientes (“triage”) y estabilización clínica
2. Remoción inmediata de la ropa contaminada
3. Decontaminación de la piel y heridas
4. Examen médico y antecedentes clínicos
5. Anotar el tiempo de los signos y síntomas prodrómicos (náuseas, vómitos, diarrea, incapacitación transitoria, hipotensión y otros signos y síntomas que sugieren un alto nivel de exposición)
6. Obtenga muestras de la nariz e identifíquelas para su monitoreo radioactivo. Si hay actividad en las muestras nasales, esto implica alrededor de 5% de depósito pulmonar.
7. Obtenga un hemograma completo y repítalo cada 4-6 hs para evaluar la cinética de la depleción linfocitaria.
8. Trate la contaminación interna si la hubiere.
9. Se ha calculado la cantidad de pacientes a evaluar y tratar en relación a la exposición radioactiva en casos de artefactos para dispersión radioactiva (“bombas sucias”) son aproximadamente menos de 1000 y que en caso de una explosión nuclear serían más de 100.000.

MANIFESTACIONES EN LA PIEL DE LA EXPOSICIÓN DE LA RADIACIÓN	
DOSIS	MANIFESTACIONES CLÍNICAS
3 Gy (300 rads)	Depilación - comienza a las 2-3 semanas
6 Gy (600 rads)	Eritema (inicialmente transitorio) comienza 2-3 semanas de la exposición
10-15 Gy (1000-1500 rads)	Descamación seca – comienza a 2-3 semanas
20-50 Gy (2000-2500 rads)	Descamación exudativa – comienza 2-3 semanas
> 50 Gy (5000 rads)	Radionecrosis y ulceración de la piel – aparece después de las 4 semanas

*Usualmente no se observarán manifestaciones clínicas inmediatas en los pacientes con exposición a la radiación. El tiempo de latencia para la aparición de los primeros signos son 2-3 semanas. Dosis muy altas en piel se pueden manifestar al ingreso como eritema de la piel.*

## SÍNDROME DE RADIACIÓN AGUDA

(IRRADIACIÓN CORPORAL TOTAL O IRRADIACIÓN PARCIAL DE ÁREAS EXTENSAS DEL CUERPO)

DOSIS	DESCRIPCIÓN CLÍNICA
0-1 Gy (0-100 rads)	<i>Generalmente asintomático.</i> Conteo de glóbulos blancos normal o minimamente deprimido a las 3-5 semanas de la exposición
1-8 Gy (100-800 rads)	<i>Síndrome hematopoyético.</i> Signos y síntomas prodrómicos tales como náuseas, vómitos, anorexia y ocasionalmente eritema de la piel, fiebre, mucositis y diarrea. Cuando la dosis es mayor de 2 Gy, los análisis de laboratorio pueden mostrar una granulocitosis inicial con pancitopenia evidente 20-30 días después. Los efectos sistémicos subsecuentes a la fase hematológica del síndrome de irradiación aguda incluyen inmunodisfunción, aumento de las complicaciones infecciosas, hemorragias, sepsis, anemia y retardo en la curación de las heridas
8-30 Gy (800-3000 rads)	<i>Síndrome gastrointestinal</i> que puede incluir severas náuseas, vómitos y diarrea acuosa, de comienzo temprano, dentro de horas post-accidente. En casos severos, el paciente puede estar en shock, con colapso cardiovascular e insuficiencia renal. La muerte por el síndrome gastrointestinal usualmente ocurre 1 a 2 semanas post-exposición. El síndrome hematopoyético ocurre en forma concomitante.
> 20 Gy (2000 rads)	<i>Síndrome nervioso central y cardiovascular:</i> los pacientes refieren sensación de quemadura dentro de minutos de la exposición, náuseas y vómitos dentro de la primer hora y signos neurológicos de ataxia y confusión. La muerte es inevitable y usualmente ocurre dentro de 24-48 hs.

Los pacientes que vomitan pasadas las 4 hs. del accidente, en el peor de los casos tendrán un leve síndrome agudo de radiación. *En casos de gran número de víctimas que excedan la capacidad de atención, todos aquellos pacientes que no hayan tenido vómitos antes de las 4 hs del accidente pueden ser temporariamente dejados en observación o dados de alta transitoria.*

Después de un accidente con emisión de alto nivel de radiación gamma, la depleción linfocitaria sigue una cinética exponencial de primer orden en las primeras 24-48 hs. Utilizando datos históricos de accidentes nucleares, se puede calcular la exposición a cuerpo entero con el conteo de linfocitos.

## CONTEO LINFOCITARIO ENTRE 8 Y 12 HS POST-IRRADIACIÓN Y RELACIÓN CON LA DOSIS RECIBIDA

Conteo Linfocitario	Dosis Estimada en Gy
2500/mm <sup>3</sup> o mayor	Menos de 1 Gy
1700-2500/mm <sup>3</sup>	1 a 5 Gy
1200-1700/mm <sup>3</sup>	5-9 Gy
< 1000/mm <sup>3</sup>	> 10 Gy

(Department of Homeland Security Working Group on Radiological Dispersal Device (RDD)  
Preparedness Medical Preparedness and Response Sub-Group)

Si la naturaleza del accidente es tal que no se pueden obtener conteos de linfocitos seriados, una regla aproximada es que en un paciente sin previa linfocitopenia, *un conteo menor de 1000 dentro de las 24-48 hs sugiere que el paciente ha recibido como mínimo una dosis mayor de 2 Gy (200 rads).*

### Evaluación biológica de la dosimetría (biodosimetría)

El Armed Forces Radiobiology Research Institute (AFRRI) ha desarrollado un instrumento de evaluación biodosimétrica (Biodosimetry assessment tool - BAT). Consiste en un software que funciona bajo Windows y se puede obtener en la siguiente dirección:

<http://www.afrri.usuhs.mil/www/outreach/batpage.htm>.

Se han identificado numerosos dosímetros biológicos.

Los intercambios de cromosomas que resultan en aberraciones inestables (dicéntricos, anillos, fragmentos acéntricos y otros arreglos asimétricos) pueden ser medidos usando la técnica de hibridación in situ con fluorescencia. Hoy es el método de elección para la biodosimetría definitiva. Sus limitaciones son el alto costo y gran demanda de tiempo de trabajo.

Otras técnicas son: medición de la apoptosis inducida por la radiación en los linfocitos humanos, conteo del número de micronúcleos en el citoplasma de las células irradiadas y marcadores bioquímicos tales como amilasa, IL-6, hierro, colesterol y apolipoproteína.

Debe preverse que los pacientes que se presenten para ser atendidos serán muchos más que los que realmente necesiten atención. En 1987 hubo en Brasil una liberación accidental de material radioactivo que contaminó varias casas. 140.000 personas preocupadas pero en buena salud concurren a los servicios de salud y los saturaron.

La planificación debe incluir esquemas rápidos de monitoreo para descartar rápidamente la existencia de contaminación y enviar a sus domicilios a las personas preocupadas por la radiación pero no afectadas. El uso de monitores en puertas, del tipo que se utilizan en las instalaciones radioactivas permiten monitorear un alto número de personas en poco tiempo.

Si el número de pacientes en los que se confirme la exposición de la radiación es muy grande, no podrá utilizarse en todos la dosimetría biológica debido al costo y el tiempo que insume.

### Evaluación de la exposición por neutrones:

La dosis recibida en rads se puede estimar utilizando un contador Geiger con el detector apoyado sobre el abdomen, utilizando la fórmula:

$$D = 1.1 K/M$$

Donde **D** = dosis de la primera colisión del neutrón en rads

**K** = cuentas por minuto (cpm) en un contador Geiger, calibrado para indicar una respuesta de 3200 cpm en un campo de radiación gamma con un 1 mR/hora

**M** = Peso de la persona expuesta en kgr.

Esta técnica puede ser usada cuando no hay contaminación externa, para medir exposición por radiación gamma o por neutrones. Permite evaluar la activación por los neutrones de objetos metálicos que lleve la víctima. Para traducir los datos de activación a exposición personal, se debe determinar el rango de energía de los neutrones, el área seccional de activación para esa energía y el flujo de neutrones.

El pelo y muestras de sangre de los pacientes expuestos deben preservarse para análisis de los niveles de <sup>24</sup>Na en sangre y <sup>32</sup>P en el pelo.

### **RESUMEN DE PROCEDIMIENTOS A ADOPTAR EN UNA EMERGENCIA RADIOLÓGICA**

1. La prioridad básica es atender medicamente todas las injurias traumáticas y recién después de lograda la estabilización médica los pacientes son evaluados por el posible daño por radiación.
2. La radiación no tiene luz, color, gusto ni olor. No produce calor y es invisible a los sentidos. La única forma de detectarla es con aparatos especiales.
3. En presencia de un accidente o atentado radioactivo, los principales enemigos a combatir son la ignorancia y el pánico.

4. La prioridad del personal de auxilio será la atención y clasificación de las víctimas en forma similar a un atentado o accidente que no involucre radiación.
5. El personal de auxilio deberá proteger su cuerpo y evitar la diseminación de la contaminación radioactiva vistiendo ropas que puedan sacarse fácilmente para deambular entre distintas áreas. Esto se logra usando camisolines, guantes, cubrecabezas y barbijos que filtren el polvo del aire inspirado. En la atención hospitalaria usualmente sólo es necesario usar camisolines y guantes.
6. Una fuente de irradiación externa de suficiente intensidad y energía puede causar daño tisular (quemaduras de la piel o depresión de la médula ósea). Esta exposición externa a los individuos no produce contaminación radioactiva. Los individuos irradiados sufren el efecto de la radiación pero no son un riesgo para las demás personas. El efecto es similar al que se produce en un paciente tratado en el Servicio de Radioterapia. La irradiación del paciente no lo hace radioactivo.
7. Dentro de las 4 horas de la exposición a altas dosis de radiación los pacientes tendrán náuseas, vómitos, diarreas y eritema de la piel. Dentro de las 8 a 24 horas tendrán linfopenia. Son necesarios los hemogramas seriados para evaluarla.
8. Las órganos primariamente afectados por la radiación serán la piel, el tracto gastrointestinal y la médula ósea.
9. El tratamiento será colocar una vía Iv, hidratar y administrar antibióticos.
10. Si el paciente presenta signos tempranos de afectación del SNC o hipotensión inexplicada, la sobrevida es improbable. Recuérdese que debe tenerse en cuenta que los pacientes afectados por la radiación pueden ser también politraumatizados y quemados. En caso de combinación de daños traumáticos y daño por radiación, debe descartarse primero las complicaciones traumáticas que pueden ser tratadas y salvar la vida del paciente y en segundo lugar considerar los posibles efectos de la radiación cuyo tratamiento inicial es esencialmente sintomático.
11. El material radioactivo puede depositarse en la piel o ropas de las personas (contaminación). Más del 90% de la contaminación será eliminada sacando la ropa del paciente. La contaminación restante quedará en la piel expuesta y se remueve lavando con agua tibia, jabón y apósitos.
12. La contaminación radioactiva en heridas o quemaduras se trata como si fuera una herida sucia. Si se encuentra un objeto metálico desconocido, se tomará con pinzas, se colocará en un área blindada alejada del tránsito de personas y se identificará como potencialmente radioactivo hasta su monitoreo.
13. La ropa se colocará en bolsas plásticas identificadas con el nombre de los pacientes en un lugar alejado del movimiento de personas.
14. El personal médico y paramédico que colabore en la atención usará guantes descartables y si se sospechara contaminación radioactiva, camisolines, guantes, gorro, botas y barbijo descartables.
15. Se llamará inmediatamente al servicio de Medicina Nuclear para que haga el monitoreo radioactivo de la ropas y los pacientes. Se anotará en la ficha clínica los resultados del monitoreo.
16. En un incidente terrorista puede haber una continuada exposición de las personas a la radiación que es necesario evaluar. Las medidas iniciales serán refugiarse si hay vapores, polvo o elementos que indiquen la posibilidad de radioactividad dispersa y en suspensión en el ambiente. El siguiente paso es la muda de todas las ropas y una ducha con agua tibia y jabón. Puede ser necesaria la evacuación.
17. La administración de IK sólo es necesaria si se ha liberado yodo radioactivo.
18. Producido un accidente radioactivo, es necesario hacer una apreciación de la cantidad de exposición a la radiación. Esto es fundamental para las decisiones terapéuticas y pronósticas. De acuerdo a los síntomas y signos de las personas expuestas a la radiación y a su ubicación en relación con el escape radioactivo se puede deducir la exposición de otras personas en el área.
19. Las dosis de radiación a las personas se miden en unidades llamadas Gray (Gy) o Sieverts (Sv). Antiguamente se utilizaban como unidades los rad y rem.  $1 \text{ Gray} = 100 \text{ rads}$  y  $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rems}$ .
20. Se puede calcular el riesgo relativo en base a la cantidad probable de radiación recibida

DOSIS RECIBIDA	EFFECTOS CLÍNICOS	EFFECTOS CLÍNICOS
10 mGy o 10 mSv – 1 rad o rem o menos)	Ningún efecto agudo	Despreciable
0,1 Gy o 0,1 Sv (10 rads – 10 rems)	No hay efectos agudos	0,5%
1 Gy o 1 Sv (100 a 200 rads – 100 a 200 rems)	Náuseas, a veces vómitos. Leve depresión de la médula ósea	5%
Mayor de 2 Gy o 2 Sv (> de 200 rads o 200 rems)	Náuseas. Vómitos. Es necesario evaluación y tratamiento médico.	

1 Gray (Gy) = 100 rads 1 Sievert (Sv) = 100 rems

(Department of Homeland Security Working Group on Radiological Dispersal Device (RDD)  
Preparedness Medical Preparedness and Response Sub-Group)

La contaminación se mide en unidades llamadas Becquerel (equivalentes a Curies o millicuries). A veces es expresada en cuentas por minuto.

21. La decontaminación se da usualmente por terminada cuando el conteo o la radiación medida es reducida al doble de la radiación de fondo o las medidas de decontaminación son ineficaces.
22. Los principios básicos en los que se basa la radioprotección son:  
**tiempo – distancia – blindaje.**
23. Durante el tratamiento de los trabajadores de Chernobyl, las dosis al equipo médico que trató a los pacientes fue de 10 miligray (10 milisievert). Las dosis a los primeros en llegar al sitio del siniestro fue probablemente mucho más alta. Para estas situaciones especiales, debería prevenirse que se dispongan medidores de radiación para evaluar el área y prevenir o limitar la radiación al personal de auxilio.
24. La dosis de radiación puede reducirse disminuyendo el tiempo de exposición en el área con radiación, aumentando la distancia a la fuente de irradiación o el área con radiación o usando blindajes aislantes que atenúen la radiación (de concreto o metal).
25. Las opciones más prácticas y sencillas para reducir la exposición del personal de auxilio es limitar el tiempo en el área lo que puede lograrse programando turnos de trabajo de menor tiempo y rotaciones más frecuentes del personal.
26. Los heridos deben ser evacuados lo antes posible del área y la atención debe hacerse en áreas libres de radiación o al menos a mayor distancia del sitio del accidente radioactivo.
27. Los eventos con “bombas sucias” raramente contaminan a las víctimas en un grado en el que la contaminación pueda ser de riesgo para el personal que concurra para su auxilio. Si la víctima está severamente herida, deben tratarse las heridas y la emergencia médica independientemente de que haya radiación en el área o de que se dispongan o no equipos para medir la radiación o para proteger de ella.

28. El personal de auxilio deberá disponer de un equipo básico de protección constituido por ropas que puede deshechar rápidamente, camisolines, barbijos, guantes y de ser posible cubrecabezas. Este equipo es el normal, disponible en cualquier sala de emergencia para protección biológica. La atención de los heridos no debe demorarse por ninguna razón, aún cuando ni siquiera se disponga de ninguna clase de equipo de protección. El personal de auxilio, su equipo y los vehículos podrán ser decontaminados más tarde, con poco riesgo a la salud del personal de auxilio.
29. Toda dispersión de material radioactivo presenta el riesgo de que el material puede ser inhalado, ingerido o absorbido a través de la piel (esta ruta de contaminación es muy rara).
30. Artefactos nucleares improvisados que produzcan una detonación nuclear, dispersarán mucho más material radioactivo en un área mucho más amplia. Las precauciones que debe tomar el personal de auxilio son esencialmente las mismas.
31. La información y el contacto con los medios periodísticos debe estar centralizada en la secretarías de la Dirección o Subdirección del Hospital.

#### INDICACIONES MEDICAS PARA MINIMIZAR LA EXPOSICION ADICIONAL DE LAS VICTIMAS Y DEL PERSONAL DE AUXILIO

En casos de dosis de radiación de 10 mSv o 10 mGy o menos, no son necesarias medidas de radioprotección. Los niveles de exposición serán determinados por instituciones especializadas en dosimetría.

Dosis mayores de 100 mSv o 100 mGy requieren medidas de protección.

Las medidas a adoptar dependen del grado y tipo de irradiación.

*No se pueden adoptar medidas de radioprotección sin medición de la exposición radioactiva. El primer paso es confirmar que existe radiación, su intensidad y tipo. El paciente irradiado se trata como un paciente convencional. No implica ningún riesgo.*

*Es diferente la situación si el paciente está contaminado con material radioactivo. En ese caso se necesitan medidas de protección para el personal y el ambiente, pero*

*estas medidas sólo pueden ser adoptadas previa definición del riesgo de radiación. El riesgo radioactivo sólo se puede evaluar con equipos de detección de radiación.*

TIPO Y CARACTERÍSTICAS DE LA EXPOSICIÓN RADIOACTIVA	MEDIDAS DE PROTECCIÓN
Irradiación externa desde una fuente conocida.	Evacuación del área. Blindaje de la fuente.
Material radioactivo en suspensión en el aire o en los objetos circundantes.	Uso de barbijos o filtros y ropas sobre la piel. Refugio en ambientes cerrados. Evitar el recambio con aire exterior. Evacuación del área. Decontaminación
Inhalación de yodo radioactivo.	Administrar yoduro de potasio (IK) 150 mgr (adultos)
Contaminación de alimentos o agua.	Consumir alimentos enlatados y agua embotellada. Decontaminación.

#### **HAY VARIOS PRINCIPIOS BÁSICOS A TENER EN CUENTA**

- Las medidas de radioprotección deben causar más beneficio que daño. No deben impedir ni demorar la atención normal de las víctimas.
- Las medidas de radioprotección básicas pueden ser tomadas con bajo costo económico y sin interferir con la atención normal de los heridos.
- Es importante definir lo antes posible si existió escape radiactivo y el grado de exposición. Para eso es necesario informar y dar participación a servicios especializados (ARN, CNEA, servicio de medicina nuclear).
- Si la exposición radioactiva es menor de 10 mSv o 10 mGy, las medidas de radioprotección serían las usuales que se usan como forma de protección cuando se manipulan fluidos biológicos.
- Si la exposición radioactiva fuera mayor de 10 mSv o 10 mGy se adoptarán las medidas de radioprotección establecidas en los procedimientos operativos, los que se adecuarán a la situación.
- Muchas de las medidas de radioprotección se comienzan en el sitio del siniestro y se completan en el lugar de evacuación. Las personas libres de contaminación o con una contaminación de nivel bajo que no puede reducirse, pueden ser dadas de alta y permitirles que regresen a sus hogares.
- El personal que auxilia a las víctimas debe ser informado del riesgo de la radiación y aceptar su misión en forma voluntaria. El límite de dosis aceptado para el personal de auxilio sería entre 250 y 500 mSv (0,25-0,5 rem) porque en ese orden de irradiación no habrá enfermedad aguda por radiación y el riesgo aumentado de contraer cáncer afectará a sólo el 1-4% de los voluntarios. Permitir una irradiación de 1000 mSv (100 rem) implicaría que parte del personal de auxilio sufrirá enfermedad aguda por radiación y dadas las incertidumbres dosimétricas en los momentos iniciales aumentaría el riesgo de exposición grave a la radiación.
- El ingreso libre a un área sólo se permitirá cuando la irradiación calculada sea menor de 0,1 mGy/h o mSv/hr (10 mR/h).
- Si las dosis de radiación superan 100 mGy/hr o mSV/hr (10 R/h), el personal de auxilio deberá retirarse para la adopción de nuevas medidas de radioprotección.
- Las personas en las que se presume que han recibido altas dosis de radiación deben ser mantenidas bajo vigilancia médica.
- Las instrucciones a la población en general en las fases iniciales del escape radioactivo dependerán de las circunstancias y situación asociadas al riesgo radioactivo. El aislamiento en espacio cerrado o refugios, evitando la renovación con aire exterior y el blindaje interponiendo edificios o estructuras edilicias (ejemplo trasladarse un subsuelo, sótano o planta baja de los edificios) es una medida transitoria útil hasta informarse de la situación y de las instrucciones que indiquen las organizaciones especializadas. Es conveniente utilizar los pañuelos húmedos sobre la cara, a modo de barbijos para que la tela retenga las partículas radioactivas en suspensión en el aire.
- Si se piensa que el cuerpo ha sido contaminado, una ducha y cambio de ropas son medidas eficaces.
- Los refugios son una buena solución transitoria cuando la dosis de radiación se calcule entre 10 y 50 mSv.
- El refugio es una buena solución de corto plazo, cuando se presume que la irradiación no superará las 48 hs.
- El paso siguiente de protección de la población es la evacuación. Este paso es mejor coordinado por las organizaciones destinadas al rescate y recuperación de las víctimas. Si hay material radioactivo en el aire, el blindaje y aislamiento es más eficaz en un primer momento que la evacuación. Una vez sedimentadas las partículas radioactivas en suspen-

sión en el aire y dispersados los vapores radioactivos, la evacuación se puede hacer con menor riesgo de irradiación. Adicionalmente, la evacuación implican pasos complejos de coordinación y tener en cuenta factores meteorológicos para evitar desplazar a la gente a un sitio que luego reciba fallout radioactivo.

16. En el accidente nuclear de Chernobyl, fue necesario evacuar y reubicar a varios cientos de miles de personas.
17. Las personas están en el exterior y hay una gran liberación de yodo radioactivo o material radioactivo en forma de partículas en suspensión en el aire, deben colocarse pañuelos húmedos sobre la cara, a modo de barbijos, para limitar la inhalación del material radioactivo. En el momento en que tengan oportunidad, deben despojarse de sus ropas que deben colocar en bolsas plásticas y ducharse.
18. La apreciación de las dosis de radiación individual recibidas por las personas expuestas usualmente no es posible en los primeros momentos de un evento terrorista. Horas o días después se podrán hacer cálculos aproximados de las dosis y los estimados relativamente seguros podrán dem-

rarse más de un mes. Estos estimados se obtienen en forma retrospectiva, basándose en la dosimetría física, reconstrucción del accidente, marcadores biológicos y el examen clínico.

19. La protección de la contaminación interna por ingestión de la radioactividad se basa esencialmente en prevenir el ingreso al cuerpo de los productos contaminados. La forma más frecuente de contaminación interna es por los alimentos y el agua. Hay tablas que regulan la radioactividad máxima que pueden tener los alimentos. Estos controles deben ser hechos por organismos gubernamentales. El ingreso al cuerpo de radionucleídos de larga vida tiene una problemática especial. La dosis recibida se calcula en relación a la dosis radioactiva que un individuo recibiría por el ingreso radioactivo a su cuerpo durante los próximos 50 años. Esto puede tener significado para un individuo joven pero es de poca relevancia en aquellos con menor expectativa de vida. En el caso de contaminación interna, los organismos especializados detectarán el tipo de contaminación e indicarán las medidas biológicas que pueden acelerar la eliminación de la radioactividad corporal y ayudar a proteger a los órganos que pueden ser afectados.

#### GUÍA PARA EXPOSICIÓN OCUPACIONAL EN EMERGENCIAS:

Tipo de Acción	Organo	Nivel (mSv)
Rescate de víctimas (ICRP)	Cuerpo entero *	Puede exceder 500 dosis efectivas
	Piel	Puede exceder 5000 dosis equivalentes
(NCRP)	Cuerpo entero (o gran parte)	Puede alcanzar o exceder 500 dosis efectivas
(EPA) Voluntario informado	Piel	500 dosis equivalente
(EPA)	Cuerpo entero	> 250 sin límite absoluto
<b>Urgente (ICRP)</b>	Cuerpo entero	250
	Cuerpo entero	500 o menor dosis efectiva
	Piel	5000 o menos dosis equivalente
(NCRP)	Cuerpo entero	Límite anual ocupacional hasta 50 dosis efectiva
Límite para protección de propiedad valiosa de grandes poblaciones (EPA)	Cuerpo entero	50
Límite para servicios de emergencia exceptuando rescate de víctimas o protección de propiedad valiosa	Cuerpo entero	100

*\*hace referencia a dosis efectiva*

*(Department of Homeland Security Working Group on Radiological Dispersal Device (RDD)*

*Preparedness Medical Preparedness and Response Sub-Group)*

El consenso es que el personal de rescate de víctimas que concurre al área del siniestro puede recibir una dosis máxima corporal total de 500 mSv porque en este rango de dosis no habrá signos ni síntomas de síndrome agudo por radiación. Sin embargo, el personal expuesto tendrá un riesgo aumentado de cáncer de entre 1-4%.

El personal debe ser informado de los riesgos y debe ser voluntario.

La exposición de personas a más de 1.000 mSv producirá en muchas de ellas una leve enfermedad aguda por

radiación. Dada la incertidumbre de la dosimetría en las circunstancias de un desastre, algunos pueden exceder las dosis calculadas y producirse muertes entre el personal de auxilio.

El personal debe estar provisto de dosímetros y alarmas. Se permitirá entrada libre al área cuando la exposición sea menor de 0,1 mGy o 0,1 mSv/hora.

Si las dosis medidas alcanzan o superan 100 mGy o 100 mSv/hora, el personal de auxilio saldrá del área hasta nuevas instrucciones.

El personal de rescate de víctimas saldrá del área cuando las dosis alcancen 500 mGy o 500 mSv/hora.

### **DOSIMETRÍA DE LA RADIACIÓN**

Se pueden usar dos tipos de aparatos. El primer tipo es un dosímetro termoluminiscente o con placa radiográfica que mide la radiación recibida. El segundo tipo es un dosímetro electrónico reusable que puede ser leído visualmente o con otros aparatos de medición. Algunos aparatos tienen una señal auditiva, cuya intensidad o frecuencia de sonido es proporcional a la intensidad de la exposición radioactiva.

Se deberían utilizar dosímetros el personal de auxilio inmediato que deba trabajar en el sitio más cercano al punto de detonación y llegan primero al sitio del siniestro. La provisión de los dosímetros sería responsabilidad del gobierno nacional, emergencia civil o los municipios.

### **PROTECCIÓN DE LA PIEL**

La ropa normal y guantes brindarán excelente protección personal contra las partículas en suspensión en el aire. El tipo de ropa a usar puede estar determinado por otros riesgos más inmediatos tales como fuego, calor o productos químicos. Cualquier equipo especializado para las otras emergencias protegerá a la piel de la contaminación radioactiva.

Los pacientes heridos gravemente, serán evacuados aún cuando se detecte en ellos contaminación radioactiva. La prioridad es la atención de sus heridas. La descontaminación radioactiva se puede hacer más tarde en el hospital. El personal que recibirá a los heridos con contaminación radioactiva confirmada o posible, recibirá a los pacientes en un área separada del resto. En el momento de su ingreso, se cambiará la ropa de los pacientes y si el estado clínico lo permite, se descontaminará la piel.

### **PROTECCIÓN DE LAS VÍAS RESPIRATORIAS**

En grado de complejidad de equipamiento, el medio más simple es el uso de barbijos del tipo de uso quirúrgico o de uso laboral. En casos especiales con alta contaminación del aire o muy alto riesgo pueden estar indicadas máscaras y filtros especiales. Estos elementos casi nunca estarán disponibles durante el primer auxilio pero si puede y debe haber disponibilidad de barbijos del tipo que se usa en fábricas o quirúrgicos que ocupan poco espacio y son muy económicos. En este análisis se excluyen emergencias en las que estén involucrados gases tóxicos o agentes biológicos (ejemplo ántrax) que si requerirán de una protección respiratoria de máximo nivel.

## **ASPECTOS PSICOLÓGICOS EN UN ACCIDENTE RADIOACTIVO**

### **CONSECUENCIAS PSICOLÓGICAS Y CONDUCTUALES**

La imperceptibilidad de la radiación de bajo nivel puede causar que muchas personas desarrollen persistentes preocupaciones por su salud o arbitrariamente atribuir a la radiación la causa de sus síntomas benignos o idiopáticos.

En circunstancias normales, un tercio de la consulta primaria es por síntomas físicos inexplicados (cansancio idiopático y dolor).

Un ataque con liberación de radiación creará incertidumbre, temor y pánico.

Luego de un atentado de esas características, el manejo de la información y el tratamiento psicológico y de las respuestas conductuales es probablemente tanto o más importante que el tratamiento del daño producido por la radiación.

Los accidentes involucrando radiación (Three Mile Island, Chernobyl, Goiania) han demostrado que la respuesta de la gente es de extrema ansiedad. Es fundamental una respuesta rápida para controlar esos sentimientos de inseguridad y angustia. La mala información, el disenso de opiniones entre los expertos, la actitud alarmista de la prensa y creadores de opinión pueden aumentar los sentimientos de vulnerabilidad.

Los accidentes radioactivos estimulan las peores fantasías.

El terrorismo por definición, intenta que sus acciones provoquen severas reacciones psicológicas en el público en general para maximizar la repercusión en la vida social y económica.

Los individuos afectados por la radiación caen en alguno de los grupos siguientes:

- cambios de conducta (enojo, temor, tristeza, alteraciones del sueño, incapacidad para concentrarse y desconfianza)
- distress psicológico manifestado como quejas somáticas inespecíficas (el llamado “MIPS” “múltiple idiopathic physical symptoms”)
- temor y angustia (rechazo a enviar a los niños a la escuela, concurrir al trabajo o a salir del hogar, conflictos familiares, aumento del consumo de alcohol y drogas)
- desarrollo de patologías psiquiátricas (personas sin antecedentes psiquiátricos son vulnerables a enfermedades psiquiátricas después de su exposición a un atentado terrorista). En el atentado explosivo en Oklahoma, casi 40% de las personas que tuvieron depresión y alteración psiquiátrica post-traumática no tenían antecedentes de patología psiquiátrica previa.

Afortunadamente, la gran mayoría de las personas van superando el trauma psicológico en el curso del tiempo.

Personas con mayor riesgo de desarrollar alteraciones psiquiátricas son:

- aquellas directamente expuestas (cercasas a la explosión y las que participan en el rescate de accidentados y cadáveres)
- los que tienen antecedentes de patologías psiquiátricas
- los que tienen familiares directos víctimas del atentado o pierden bienes o su fuente de trabajo

De los pacientes que concurren a la atención hospitalaria, algunos tendrán contaminación radioactiva o síntomas de irradiación aguda, otros tendrán patologías no relacionadas con la radiación pero muchos, quizás la gran mayoría no tendrán patología clínica demostrable.

Un estimado conservador de la proporción de concurrentes no afectados por la radiación vs. afectados es 4/1.

Los antecedentes del accidente radioactivo en Goiania (Brasil) indican que en el caso de una “bomba sucia” la proporción de consultas de pacientes que sólo requieren reafirmación de que están bien y no sufrirán daños es sustancialmente mayor.

Es aconsejable que los pacientes sean clasificados de bajo, moderado o alto riesgo en cuanto a su exposición a la radiación.

*La repercusión psicológica es independiente del grado de exposición a la radiación.*

Es aconsejable no perder el seguimiento de los pacientes y recomendarles que consulten a su médico personal o que concurren en el futuro próximo al hospital para controles posteriores.

Dado que el tratamiento del daño por radiación es inicialmente sintomático, una estrategia es orientar a los pacientes asintomáticos, con bajo riesgo, para controles en días posteriores y asistencia psicológica, liberando de esta forma los Servicios de Emergencia. Es aconsejable imprimir información básica referida a la radiación, sus posibles efectos y su tratamiento. Esta información puede estar almacenada en computadoras e impresas de acuerdo a necesidad para ser entregadas a las personas que consultan.

Es fundamental que los médicos generalistas estén informados. Luego de los ataques de ántrax en EU, 77% de una muestra representativa de personas informaron que su fuente de información fue su médico personal.

Debe aconsejarse a los pacientes que descansen y se alimenten bien, que retomen apenas sea posible su vida normal y que se comuniquen con sus familiares y amigos. Es importante informarles que muchos de los síntomas y signos se atenuarán y desaparecerán en el curso del tiempo.

Muchas de las dudas de los pacientes se referirán al riesgo de cáncer y daño genético. La entrega de información

escrita puede ayudar a mitigar la angustia inicial.

Las pacientes embarazadas requerirán de apoyo especial.

Los temores por el desarrollo de cánceres persistirán por años. La información a los pacientes debe ser honesta, precisa y sencilla.

*El uso de ejemplos de riesgos puede ayudar a la interpretación del riesgo producido por la exposición radioactiva (ejemplo: riesgos por fumar, riesgo de accidentes fatales por no uso del cinturón de seguridad, etc)*

La información dada por la prensa y los medios de comunicación deberá ser lo menos sensacionalista posible y su objetivo será informar, educar, tranquilizar y orientar adecuadamente a la población.

#### TRATAMIENTO DE LA CONTAMINACIÓN INTERNA

Si ocurrió contaminación interna, las medidas médicas dependerán de la forma química y del radionucleído contaminante.

Hay diversas formas de reducir la exposición debido a la contaminación interna:

- **INHIBICIÓN COMPETITIVA:** Yodo estable para reducir la radiación a la tiroides (contaminación con yodo131 o yodo125).
- **INHIBIR O REDUCIR LA ABSORCIÓN GASTROINTESTINAL:** Hidróxido de aluminio, sulfato de bario y fosfato oral en caso de ingestión estroicio 89 o 90. Lavado gástrico, carbón activado, laxantes y enemas evacuantes.
- **REDUCIR LA CAPTACIÓN DEL RADIONUCLEÍDO EVITANDO LA CIRCULACIÓN ENTEROHEPÁTICA:** Azul de rusia en caso de contaminación con talio o cesio 137 o 134. El azul de rusia se une al cesio e impide su reabsorción.
- **LAXANTES Y ENEMAS EVACUANTES:** Para acelerar la eliminación intestinal
- **AUMENTAR LA ELIMINACIÓN URINARIA:** Hidratación abundante en contaminación por tritio.
- **QUELACIÓN CON DTPA CÁLCICO O DE ZINC:** Eliminación urinaria de plutonio y elementos transuránicos.
- **AGENTES QUE REDUCEN EL EFECTO NOCIVO DE LA RADIACIÓN:** Amifostina
- **Inhibiendo la fijación del compuesto a los túbulos renales:** Bicarbonato de sodio en la contaminación con uranio.

#### AGENTES FARMACOLÓGICOS RADIOPROTECTORES

La Amifostina (WR-2721), un aminotiol fosforilado, es el primer agente aprobado por la FDA como radioprotector. Su metabolito activo (WR-1065) es un secuestrador de radicales libres y protege a las membranas celulares y macromoléculas tales como el DNA del daño inducido por los radicales libres inducidos por la radiación.

La amofostina (Etiol N.R.) reduce los efectos tóxicos de



la radioterapia o quimioterapia fraccionadas en cánceres de cabeza y cuello (mucosistis, xerostomía). Se ha usado a dosis de 200 mgr/m<sup>2</sup> IV, 15 a 30 minutos antes de cada sesión de radioterapia. El uso de la droga está limitado porque puede provocar hipotensión sintomática, náuseas y vómitos.

En algunos ensayos clínicos, la amifostina disminuyó la depresión medular, la neumonitis y la esofagitis producidas por la radioterapia.

Recientemente se ha usado amifostina en forma subcutánea (500 mgr/m<sup>2</sup> en 2,5 cm<sup>3</sup>) 20 minutos antes de cada sesión de radioterapia con menos náusea, vómitos e hipotensión pero iguales efectos beneficiosos.

Adicionalmente, la amifostina administrada previamente a la radiación por neutrones y gamma parece reducir las mutaciones y el efecto carcinogénico de la radiación. El personal de auxilio que acude primero a un área con exposición radioactiva podría ser tratado previamente con amifostina para reducir los riesgos estocásticos (cáncer y mutaciones).

No se conoce si la amifostina puede tener efectos beneficiosos si se administra antes de una dosis intensa de radiación (situación diferente a la radioterapia fraccionada) pero se presume que puede mantener su capacidad de radioprotección.

*Debe tenerse en cuenta que la amifostina es útil cuando se utiliza antes de la acción de las radiaciones. En el caso de las "bombas sucias" no tendría indicación.*

#### **BICARBONATO DE SODIO**

El bicarbonato de sodio sería útil en las víctimas expuestas a ciertas formas químicas de uranio natural, enriquecido o deplecionado.

El bicarbonato de sodio es una droga de fácil obtención para su administración oral o IV. Es una droga importante para la prevención del "crash síndrome o síndrome del aplastamiento" que puede estar asociado con los atentados explosivos.

La forma química y el tamaño de las partículas de uranio son factores importantes para determinar el riesgo de la inhalación de las mismas y la efectividad del tratamiento con bicarbonato.

El riesgo del uranio es más químico que radiológico, salvo cuando el contaminante es Uranio 235 enriquecido.

Una exposición de sólo 0,058 mgr/Kgr de uranio, produce daño renal (NTA). En el medio normalmente ácido de la orina, se produce UO<sub>2</sub> 2+ que se fija a los túbulos renales. La alcalinización de la orina con bicarbonato (oral o IV) previene el daño renal. La orina alcalinizada forma un complejo de carbonato de uranio no tóxico que es rápidamente excretado por los riñones.

La dosis de bicarbonato de sodio son 4 gr por vía oral y

2 gr cada 2 hs. Se puede utilizar la vía IV; 2 ampollas de bicarbonato de sodio (44,3 mEq cada una; solución al 7.5%) diluidas en 1.000 cm<sup>3</sup> de solución salina. Se administran a un ritmo de 125 cm<sup>3</sup>/hora. Las dosis pediátricas pueden variar desde 84-840 mgr/kg/día en dosis divididas cada 4 a 6 hs..

El tratamiento es controlado colectando las orinas de 24 hs. y muestras de heces para analizar el contenido de uranio y signos de toxicidad clínica (proteinuria, cilindruria, microglobulina).

Se debe controlar la función renal (dosajes de urea y creatinina).

Si la población en riesgo es muy grande, es aconsejable hacer un muestreo de un grupo seleccionado para evaluar el riesgo de contaminación radioactiva determinando la existencia de uranio y su cantidad en frotis nasales, orina y heces.

#### **FACTORES ESTIMULANTES DE LAS COLONIAS HEMATOPOYÉTICAS:**

Las citoquinas son glicoproteínas que el cuerpo produce normalmente y que inducen a las células madre de la médula ósea a proliferar y diferenciarse en una amplia gama de células maduras.

Los factores estimulantes de las colonias actúan sobre las células hematopoyéticas uniéndose a los receptores en la superficie celular e induciendo la proliferación, diferenciación y activación de su función.

La filgrastima es un factor estimulante de las colonias de granulocitos (G-CSF). Es producida por tecnología de DNA recombinante. Se comercializa bajo el nombre neupogen. La FDA aprobó en 1992 el uso de filgrastima en pacientes neutropénicos con mielosupresión causada por los tratamientos antineoplásicos. El objetivo del tratamiento es disminuir la incidencia de infecciones favorecidas por la inmunosupresión.

La pegfilgrastima es una forma de filgrastima de acción prolongada. Es producida por la conjugación de la filgrastima con una molécula de monometoxi polietilenglicol. El producto conjugado tiene una prolongada vida media plasmática y reducido clearance renal. El clearance renal varía con el número de neutrófilos. A mayor número, mayor clearance.

La sargramostima es producido por técnicas de recombinación humana. Es un factor estimulante de colonias de granulocitos-macrófagos (rhu GM-CSF). Se administra a pacientes con leucemia mielógena aguda para acelerar la recuperación de los neutrófilos y reducir la incidencia de complicaciones infecciosas graves.

La dosis recomendada de filgrastima (neupogen N.R.) es 5 mcg/kg/día.

La pegfilgrastima (neulasta N.R.) se administra como

una única inyección subcutánea de 6 mgr.

La dosis de sargramostima (leukine N.R.) es 250 mgr/m<sup>2</sup>/día.

No hay dosis recomendada para pacientes con neutropenia causada por exposición a la radiación pero se presume que dada la similar patofisiología, estas drogas serán útiles.

En pacientes pediátricos, los oncólogos han usado estas citoquinas con éxito variado. En general se han utilizado con más frecuencia en la profilaxis primaria de la neutropenia que en las neutropenias febriles.

Poblaciones con mayor riesgo de infecciones graves asociadas con el estado neutropénico son los pacientes mayores de 65 años, aquellos con enfermedades o infecciones concomitantes, los pacientes oncológicos, aquellos con antecedentes de previa neutropenia febril, enfermedades fungales invasivas, heridas abiertas, inmunocomprometidos, hipotensión, síndrome séptico, neutropenia severa (< 100/mm<sup>3</sup>) o neutropenia pre-existente, tratamientos previos con quimio o radioterapia, enfermedad primaria no controlada, neumonía.

Para su uso en pacientes embarazadas las citoquinas son consideradas categoría C

El costo del uso de citoquinas es muy alto. Se ha calcu-

lado entre 1.400 y 3.000 dólares, dependiendo del tipo de citoquina y protocolo de indicación.

#### **DIETILENTRIAMINOPENTAACETATO TRISÓDICO CALCICO (CA-DTPA o ZN-DTPA):**

Ca-DTPA y Zn-DTPA se combinan con gran número de iones metálicos y forman complejos estables (quelatos). Las drogas intercambian calcio por otro metal con mayor afinidad (ej; plutonio, americio) y el metal combinado con el DTPA es excretado por orina. Con dosis repetidas de Ca-DTPA, puede producirse una depleción del Zn corporal y en menor extensión de manganeso y otros elementos que hay en el cuerpo en muy bajas concentraciones.

El tratamiento con Ca-DTPA y Zn-DTPA es eficaz para tratar la contaminación interna con sales solubles de plutonio, tales como nitratos o cloruros.

El Ca-DTPA o Zn-DTPA no es eficaz para tratar pacientes con sales muy insolubles, como el óxido high fired.

El DTPA se obtiene en frascos con 1 gr en 5 ml de diluyente. Se administra 1gr diario, no fraccionado. La administración puede ser una inyección Iv lenta, una infusión Iv o inhalación con un nebulizador(diluido 1:1 en salina).

Su mayor acción quelante se manifiesta dentro de las 6 hs de la exposición.

<b>Grado de exposición radioactiva</b>	<b>Tratamiento con Ca-DTPA</b>
Menos que 1 límite anual de ingesta (< 1 ALI)	No está indicado
Entre 2 a 10 ALI	Indicado de acuerdo a la evaluación clínica
Mayor de 10 ALI	Recomendado

ALI = 100 µCi

Ca-DTPA está contraindicado en niños, mujeres embarazadas y pacientes con síndrome nefrótico o depresión de la médula ósea.

Zn-DTPA, si está indicado clínicamente, podría ser administrado a niños sobre una base de mgr/kg y a mujeres embarazadas en todos los trimestres, aunque no hay suficiente experiencia en estas poblaciones. En embarazadas Ca-DTPA es clasificado categoría D y Zn-DTPA categoría C.

Ca-DTPA es aproximadamente 10 veces más eficaz que Zn-DTPA para la quelación inicial de elementos transuránicos y es la droga de elección cuando están involucrados son los contaminantes.

24 hs. después de la exposición, Zn-DTPA es tan efectivo como el Ca-DTPA.

El Zn-DTPA tiene menor toxicidad que el Ca-DTPA y dada su eficacia similar luego de las 24 hs. de la exposición, es la droga preferida en tratamientos prolongados.

#### **YODURO DE POTASIO:**

Hay un número de radioisótopos de yodo de uso posible en atentados terroristas involucrando “bombas sucias”: 131-yodo, 125-yodo, 123-yodo. A pesar de su corta tiempo medio físico, el riesgo con estos radionucleidos es su fácil obtención porque son de uso rutinario en medicina nuclear diagnóstica y radioterapia (semillas de yodo 125).

Los radioyodos son también parte de los productos de fisión que pueden ser liberados a la atmósfera en accidentes en reactores nucleares o en explosiones de fisión nuclear.

El yodo radioactivo puede ser inhalado o el fallout contaminar alimentos. La principal fuente de contaminación de las personas es la leche.

Los niños son más susceptibles al daño provocado por la irradiación tiroidea.

El yoduro de potasio es la droga de elección para proteger a la glándula tiroidea. Está indicado sólo para disminuir la captación tiroidea de yodo radioactivo.

No tiene acción de radioprotección general ni está indicado cuando los radionucleidos involucrados sean diferentes del yodo.

Para que el yoduro de potasio sea eficaz, debe ser administrado lo antes posible, idealmente, antes de la exposición.

Administración de Yoduros Tiempo post-contaminación	Radioprotección (%)
- 24 hs	100
+ 2 hs	65-80%
+ 8 hs	17-40%
+ 24 hs	7%

El yoduro de potasio no protege a la piel de las quemaduras provocadas por la contaminación externa.

En este caso, la medida de radioprotección es la limpieza de la piel, como con cualquier otro material radioactivo.

El yoduro de potasio es de fácil obtención pero puede no estar disponible en cantidades suficientes. El yodo-povidona está en general disponible en todos los hospitales. El yodo de la povidona puede absorberse a través de la piel y el compuesto químico es más estable que el yoduro.

La experiencia con el accidente en el reactor nuclear de Chernobyl ha mostrado que el feto, neonato y los niños son los que tienen mayor riesgo de enfermedad tiroidea inducida por radiación (cáncer, adenomas, hipotiroidismo).

Algunos objetan la necesidad de administrar yoduro de potasio en individuos mayores de 40 años porque el riesgo de patologías tiroideas inducidas por la radiación es menor en personas de mayor edad. Sin embargo, el yoduro de potasio tiene pocas contraindicaciones.

Alguna de ellas son la hipersensibilidad al yodo (no a los contrastes iodados que son moléculas diferentes sino al yodo en forma de yoduros), dermatitis herpetiforme, vasculitis hipocomplementemia.

El yoduro en algunos pacientes puede producir alteraciones gastrointestinales, alteraciones tiroideas durante su administración (reversibles) y reacciones dérmicas.

#### LAS DOSIS DE YODURO DE POTASIO SON:

*Con exposición tiroidea desde 500 cGy (rads) y superiores*  
Adultos (mayores de 40 años): 130 mgr/día hasta que desaparezca el riesgo de contaminación con yodo radioactivo.

*Con exposición tiroidea desde 10 cGy (rads) y superiores*  
Adultos (entre 18 y 40 años): 130 mgr/día hasta que desaparezca el riesgo de contaminación con yodo radioactivo.

Administrado después de la contaminación interna con radioyodo, su eficacia es mucho menor y es altamente dependiente del tiempo entre exposición y su administración. Administrado 24 hs luego de la exposición reduce la irradiación a la tiroides en sólo 7%.

#### *Con exposición tiroidea desde 5 cGy (5 rads) y superiores*

Adolescentes con peso cercano al de los adultos: 130 mgr/día  
Niños y adolescentes entre 3 y 18 años: 65 mgr/día  
Niños entre 1 mes y 3 años: 32 mgr/día  
Niños menores de 1 mes: 16 mgr/día  
Hasta que desaparezca el riesgo de contaminación con yodo radioactivo.

#### *Con exposición tiroidea desde 5 cGy (5 rads) y superiores*

Mujeres embarazadas y lactando: 130 mgr/día **en dosis única** (por el riesgo de afectar la función tiroidea del feto o del lactante)

#### PREPARADOS FARMACOLÓGICOS DE IODO

##### SOLUCIÓN IODOIODURADA (SOLUCIÓN DE LUGOL FNA)

Iodo 5 gr  
Yoduro de Potasio 10 gr  
Agua destilada csp 100 ml  
1 ml (20 gotas) contiene 125 mgr de yodo

##### IODURO DE POTASIO FNA

Contiene no menos del 99% de yodo.  
Disolver 130 mgr en agua y administrar al paciente.

##### IODURO DE SODIO FNA

Contiene no menos de 99% de yodo.  
Disolver 130 mgr en agua y administrar al paciente.

El yoduro administrado por vía oral se absorbe rápidamente en todo el tracto gastrointestinal por transporte pasivo y 5' a 10' post-ingestión aparece en orina y saliva.

Los yoduros se distribuyen en todo el líquido extracelular y se concentran selectivamente en la tiroides.

Son excretados rápidamente por los riñones y a las 24 hs. queda en el cuerpo sólo el 30% de la dosis administrada.

Los yoduros son excretados por filtrado glomerular pero parcialmente reabsorbidos por los túbulos renales. El clearance de yoduros es muy inferior al de inulina.

Se alcanza la máxima concentración urinaria entre 1 y 2 hs. luego de su administración oral.

Los yoduros pasan a todas las secreciones orgánicas (saliva, jugo gástrico, bilis, sudor, leche, poco a LCR y sólo 1 a 3% se elimina por las heces, por secreción intestinal, transporte activo).

Pueden producir gusto metálico pero no es un efecto tóxico sino secundario a la secreción de yoduros por las glándulas salivares.

#### **INTOXICACIÓN POR YODUROS:**

Aparece sólo con dosis altas de yoduros, pero existe gran variación individual, pudiendo aparecer con pequeñas dosis y después de cortos tiempos de tratamiento.

Síntomas mucosos: estornudos, rinorrea, conjuntivitis, sialorrea, tos, expectoración e incluso fiebre, con un cuadro similar al producido por el resfrío común. Puede haber diarreas.

Síntomas cutáneos: Generalmente de tipo acneiforme (acné iódico), con erupción en la cara y el pecho. En casos graves puede haber púrpura y erupción ampollosa o pustulosa.

Puede haber agrandamiento de las glándulas salivales.

Los síntomas de toxicidad desaparecen espontáneamente en pocos días al suspender el tratamiento.

El mecanismo de la toxicidad por yoduros es desconocida

La acción del yodo sobre la tiroides es un capítulo aparte y de mayor complejidad. La administración de yoduros puede producir hipo o hipertiroidismo que resuelven al suspender el tratamiento.

#### **AZUL DE PRUSIA**

El azul de prusia insoluble, hexacianoferrato férrico, es una droga que aumenta la eliminación del cuerpo de los isótopos de cesio y talio.

En el incidente radioactivo en Guayana, Brasil fue usado exitosamente.

*El azul de prusia tiene muy alta afinidad por el cesio y talio. El metabolismo de cesio y talio sigue un ciclo entero-entérico.* El azul de prusia administrado oralmente atrapa al cesio o talio en el intestino, interrumpe su reabsorción y aumenta su excreción fecal.

El azul de prusia no es absorbido en el tracto gastrointestinal. No hay contraindicaciones para su administración.

El único requisito para que el azul de prusia sea efectivo en la remoción del cesio o talio es que la motilidad gastrointestinal esté conservada.

La dosis inicial en caso de contaminación con 137-cesio es 1 gr cada 8 hs. En niños la dosis es de 1 a 1,5 gm/día, repartida en 2 o 3 fracciones.

El azul de prusia puede ser indicado en embarazadas (categoría C).

El azul de prusia insoluble es provisto en cápsulas de

gelatina de 0,5 gr. Es normal que con el tratamiento las heces tomen una coloración azulada. Las dosis de azul de Prusia son proporcionales al grado de contaminación. No es necesario administrar azul de prusia si la actividad contaminante equivale a menos de 100  $\mu\text{Ci}$ .

Entre 100-500  $\mu\text{Ci}$  la dosis será de 3 gr/día.

Entre 500-1.000  $\mu\text{Ci}$  la dosis será 3-10 gr/día.

Actividades mayores de 1.000  $\mu\text{Ci}$  serán tratadas con dosis entre 10-20 gr/día.

El azul de prusia se utilizó en el accidente en Guayana, Brasil. Las dosis fueron entre 1 y 10 gr al día, con tratamientos hasta 150 días. Dosis mayores de 10 gr/día se asociaron con mayor incidencia de gastritis, constipación o diarreas.

Se trataron pacientes entre 4 y 38 años. El azul de prusia facilitó la eliminación del cesio.

El tiempo medio efectivo del cesio en el cuerpo es de 36 a 124 días (mediciones en varios accidentes humanos). El uso de azul de prusia redujo el tiempo medio efectivo de 39 a 16 días.

El costo de 30 cápsulas de 1 gr el azul de prusia es de aproximadamente 16 dólares. Se ha calculado que pueden requerir este tipo de tratamiento menos de 1000 personas afectadas por terrorismo radioactivo.

#### **TRANSPLANTE DE CÉLULAS MADRE DE MÉDULA ÓSEA**

La radiación ionizante puede causar alteración transitoria de la hematopoyesis con exposiciones tan bajas como 0,5-1,0 Gy (50 a 100 rads). A medida que aumenta la dosis de radiación, el número de células hematopoyéticas en la médula ósea disminuye y aparece una pancitopenia.

El nivel de radiación que causa un daño irreversible en el sistema hematopoyético varía entre los individuos y probablemente refleja diferencias biológicas e individuales.

Con dosis mayores de 5 Gy (500 rads), las plaquetas y los granulocitos en sangre periférica caen marcadamente alrededor de los 14 días después de la exposición. El riesgo de hemorragias e infecciones en los pacientes no controlados aumenta notablemente (la LD50 – dosis que causa la muerte en la mitad de la población, se calcula en 4.5 Gy – 450 rads).

Afortunadamente, los tratamientos actuales (antibióticos, citoquinas, cuidado médico intensivo) mejora el pronóstico.

Los pacientes con mielosupresión secundaria a la exposición radioactiva son comparables a los pacientes a los que se les transplanta médula ósea o que sufren de insuficiencia medular debido a anemia aplásica o quimioterapia.

Aunque la mayoría de las células hematopoyéticas se replican rápidamente y son muy sensibles a la radiación, el sistema en su conjunto tiene gran elasticidad y su biología básica lo protege del daño irreversible.

Las células madres en sí mismas, raramente replican y son muy estables al daño físico, incluido el radioactivo. El daño a parte del sistema puede no producir daño a otras partes del mismo.

La regla, más que la excepción, es que la exposición por irradiación accidental sea no uniforme y las regiones menos expuestas conservan médula ósea normal que puede ser la base para la recuperación posterior.

Aún con graves daños al sistema hematopoyético, las células madres pueden migrar a áreas dañadas y restaurar la hematopoyesis. En modelos en animales, unas pocas células madres hematopoyéticas pueden repoblar al sistema entero. En humanos, pequeñas infusiones de médula ósea de donantes sanos reconstituyen el sistema hematopoyético totalmente ablacionado de los receptores.

El trasplante de médula o de células madre desde un gemelo homocigótico (idéntico) puede restaurar la hematopoyesis con seguridad en pacientes irradiados con dosis letales. Esta situación es excepcional y lo más probable es que en los casos de exposición accidental a la radiación se disponga de trasplantes con donantes alógenos (no auto-trasplante).

*Este tipo de trasplante en individuos con daño por radiación es controversial porque muchos de estos pacientes tienen médula ósea remanente (irradiación no uniforme).*

Se requeriría inmunosupresión adicional para preparar al receptor para el trasplante y también luego del trasplante para atenuar la enfermedad injerto contra huésped. La adición de medicaciones inmunosupresivas en pacientes ya inmunosuprimidos tiene alto riesgo.

Además, los niveles de radiación que causan severo daño medular, generalmente producen graves daños concomitantes a otros órganos, en especial a pulmones e intestinos.

La insuficiencia medular se combina con la afectación de otros órganos y la muerte muchas veces ocurre por el daño a sistemas y órganos no hematopoyéticos.

El trasplante de médula es un procedimiento de alto riesgo y hasta la fecha los pocos trasplantes que se han hecho en paciente letalmente irradiados no demostraron mejor supervivencia.

Algunos investigadores piensan que si los granulocitos caen a niveles menores de 200-300/mm<sup>3</sup> al día 5 o 6 después de la exposición, esto es un signo de que no tiene células madre remanentes que le permitan una recuperación espontánea y en ese caso estaría indicado el trasplante.

Luego del accidente de Chernobyl, un indicador de la necesidad de trasplante fueron biopsias de médula en múltiples sitios con baja celularidad (indicando severa aplasia). Pueden usarse otros signos de función medular, el número de células CD34<sup>+</sup>. Todos los indicadores clí-

nicos deben combinarse con un estimado de la dosis de radiación recibida por el paciente (distancia del paciente y la fuente radioactiva, tiempo de exposición, cambios biológicos).

Si la médula no muestra signos de recuperación luego de 1-2 semanas de aplasia (días 25 a 40 post-exposición), puede estar indicado el trasplante.

Cuanto más temprano post-exposición se manifiesta la aplasia, mayor la probabilidad de que sea irreversible.

Conteos de granulocitos muy bajos entre 8 y 12 días post-exposición indican una dosis mayor de 6 Gy (600 rads) y mayor probabilidad de aplasia prolongada o irreversible.

*Estos pacientes de alto riesgo deben ser evacuados a hospitales con centro de trasplantes de médula y que su seguimiento lo haga el equipo médico con experiencia en trasplantes.*

*Los pacientes deben ser evaluados en su totalidad, teniendo en cuenta que irradiaciones de tal magnitud se acompañan de daño multiorgánico (pulmones, aparato gastrointestinal, quemaduras, trauma físico) y que la restauración de la hematopoyesis no mejorará su pronóstico cuando la afectación de los otros órganos y sistemas sea muy grave.*

La recuperación de la hematopoyesis en irradiaciones corporales superiores a 10 Gy (1000 rads) no representa beneficio para los pacientes porque invariablemente morirán por complicaciones pulmonares o gastrointestinales.

*Resumiendo, el rol del trasplante de médula ósea en respuesta al daño por radiación es de un valor limitado. La irradiación generalmente es no uniforme lo que posibilita que haya regiones de médula ósea con capacidad de recuperación. En irradiaciones muy graves, la muerte se produce por el daño a otros órganos y el trasplante de médula juega un rol secundario y de beneficio dudoso.*

Se ha calculado que en los casos de terrorismo radioactivo los candidatos posibles al trasplante de médula serían menos de 100.

#### **MANIPULACIÓN DE LOS CADÁVERES:**

Los cadáveres pueden estar contaminados con material radioactivo. Se confirmará y se medirá el grado de contaminación con equipos especiales. El personal cuya misión sea la disposición de los cadáveres contaminados será provisto del equipo de protección adecuado y de dosímetros personales. De acuerdo al nivel de exposición radioactiva se harán turnos rotativos.

*El personal debe estar alerta de que junto al material radioactivo pueden haber otros materiales de riesgo contaminantes.*

## **DISPOSICION DE LOS CADÁVERES**

### **CONSECUENCIA DE TERRORISMO RADIOACTIVO:**

Los cadáveres producidos por un artefacto de dispersión de radiación o un arma nuclear improvisada deben ser monitoreados con equipos de detección de radiación.

Una persona fallecida, expuesta a una dosis letal de radiación externa no necesariamente tendrá radioactividad. En estos casos no se requieren precauciones especiales.

Las precauciones son necesarias cuando los pacientes están contaminados y tienen material radioactivo sobre o dentro de ellos. A veces es necesario evacuar a los cuerpos del área con radiación para poder precisar si existe o no contaminación en ellos.

Antes de evacuar un cuerpo contaminado, debe ser colocado en bolsas plásticas identificadas como radioactivas.

El personal que trabaje con cadáveres contaminados deberá usar ropa de protección (guantes, máscaras o barbijos, camisolines y cubrecabeza), dosímetros personales y si fuera posible instrucciones básicas de radioprotección o bajo la supervisión de personal con experiencia en radioprotección.

El límite de dosis del personal no debe superar el límite de dosis ocupacional de 50 mSv/año (0.05 Gy por año por Factor de Calidad)

### **AUTOPSIAS**

Las autopsias de cadáveres minimamente contaminados no requieren otras precauciones que el control de la contaminación y ropa de protección.

Las autopsias en cadáveres altamente radioactivos serán restringidas al mínimo absoluto. Cuando las mediciones en la superficie del cuerpo están en el rango de 0.1-1.0 mCy/hr, puede ser aconsejable repartir la misión entre diferentes personas.

### **CREMACIÓN – INHUMACIÓN**

El embalsamamiento de un cadáver por el método de simple inyección no es un proceder riesgoso para el embalsamador si no se ha hecho autopsia. Los embalsamadores deberán usar ropas de protección y puede ser aconsejable la presencia de personal del equipo de seguridad radiológica.

Las medidas de radioprotección estarán basadas en la cantidad y tipo de material radioactivo que permanece en el cuerpo.

Las inhumaciones no son usualmente problema, salvo que haya contaminación con material radioactivo de extremadamente larga vida media que finalmente pueda alcanzar al ambiente.

La autorización de la cremación estará basada en si existe riesgo de que se libere material radioactivo al ambiente por la incineración o las cenizas.

Hay guías que indican que se puede cremar aquellos cadáveres cuya actividad no exceda los 400 mBq.

Es improbable que con el uso de un artefacto de dispersión nuclear no explosivo se produzcan cadáveres contaminados, salvo que ocurran muertes incidentales por ataques cardíacos o accidentes de auto.

Si el incidente involucra explosivos convencionales que contienen también material radioactivo, el número de cuerpos contaminados puede variar desde decenas a varios cientos.

Si el evento fue un artefacto nuclear improvisado, los cuerpos contaminados pueden ser varias decenas de miles.

## **ANEXO 1**

### **SEGURIDAD EN EL DEPÓSITO DEL MATERIAL RADIOACTIVO**

1. Todos los materiales serán evaluados desde una perspectiva de riesgo terrorista y las medidas de seguridad deben ser proporcionales al riesgo estimado.
2. Los factores a tener en cuenta al estimar el riesgo son: actividad, tiempo medio, constante de exposición gamma, límites anuales de ingreso al cuerpo, facilidad de portabilidad o remoción y dispersibilidad.
3. En el caso de los materiales radioactivos de mayor riesgo, especialmente fuentes con actividades de varios multicuries de larga vida media, el equipo de seguridad radioactiva consultará con los expertos en seguridad.
4. El personal debe ser entrenado en medidas de seguridad y el acceso a los lugares de almacenamiento de material radioactivo debe ser restringido sólo a personas autorizadas.
5. Debe evitarse que los objetivos de seguridad alteren el normal funcionamiento de los servicios o entren en conflicto con las medidas reglamentadas de radioprotección.

En general, dado el tipo de material y actividad que se dispone en un Servicio de Medicina Nuclear, las medidas normales de radioprotección son suficientes ya que el riesgo de uso de dicho material con fines terroristas es prácticamente nulo.

## **ANEXO 2**

### **MEDIDAS HOPITALARIAS DE DECONTAMINACIÓN EXTERNA**

- La única razón por la que un paciente concurra al hospital es que tenga un serio problema médico.
- La decontaminación debe hacerse en el área del accidente o en los domicilios de los pacientes ambulatorios.
- El Hospital no es el medio adecuado para la deconta-

- minación de personas contaminadas o sospechosas de estar contaminadas. Las personas que concurren con ese fin deben ser enviadas a sus domicilios para que se muden de ropa (incluido calzado) y se bañen y luego sigan las instrucciones que darán las autoridades gubernamentales.
- Los pacientes que estuvieron o presumen haber estado expuestos a la radiación y estén asintomáticos tampoco deben concurrir ni deben ser atendidos en el hospital. Esta situación es equivalente al paciente que sale del consultorio de radioterapia. No significa riesgo para nadie y la gran mayoría de los efectos de la radiación se harán manifiestos días, semanas o años después.
  - Los pacientes con patología que concurren al hospital y tienen contaminación externa serán estabilizados medicamente y luego se medirá la contaminación con equipos especiales (solicitar apoyo al Servicio de Medicina Nuclear).
  - Se removerá la ropa de los pacientes y se controlará si queda radioactividad residual. La simple muda de ropas reducirá la contaminación radioactiva en un 90%.
  - En caso de que haya contaminación radioactiva residual se lavarán las áreas con radioactividad con agua y jabón absorbiendo el líquido con apósitos. Si el paciente está en condiciones, se bañará usando agua y jabón. Se considerará que el paciente no está contaminado cuando la radiación no supere el doble del fondo ambiental.
  - Se obtendrán hisopado de las mucosas nasal, bucal, conjuntival, de la piel en conducto auditivo externo, alrededor de la boca, en pliegue nasogeniano y una muestra de pelo. Estas muestras servirán como control de la posible contaminación externa e interna. Si fueran negativas la posibilidad de contaminación interna es remota. Los hisopos (se pueden usar hisopos comunes, de venta al público) se identificarán con el nombre del paciente, fecha, hora y sitio de obtención de la muestra.
  - Los pacientes ingresarán y serán atendidos en un área separada del Servicio de Emergencia donde el tránsito de pacientes y personal sanitario tenga una circulación independiente del resto del hospital. En los sitios de acceso y salida del área se harán controles de radioactividad.
  - El personal que atiende a los pacientes usará camisolines, gorra, barbijo, guantes y botas descartables. Cuando salga del área de atención de pacientes contaminados, cambiará sus ropas exteriores y pasará por el control de radioactividad. El uso de barbijo tiene indicación para que el personal no toque su boca más que para evitar inhalación de material radioactivo (situación muy improbable fuera del sitio del accidente).
  - La ropa de los pacientes será almacenada en bolsas de plástico identificadas con nombre y apellido, fecha y hora y almacenadas en una habitación destinada al almacenamiento del material contaminado.
  - La ropa de recambio del personal sanitario será también almacenada en la misma habitación.
  - Apenas sea posible, el personal sanitario cuya misión sea atender al personal contaminado será provisto de dosímetros. Una solución práctica y rápida es contactar con los servicios de Medicina Nuclear, Radioterapia y Radiología para que entreguen al Servicio de Emergencia los dosímetros que utiliza su personal. Esto permitirá disponer en corto plazo de al menos 15 o 20 dosímetros.
  - La exposición del personal sanitario fuera área del siniestro no deberá recibir una exposición radioactiva superior a 50 msievert (5 rems)
  - Los objetos metálicos radioactivos pueden ser el mayor riesgo de exposición a la radiación al personal sanitario. Deben ser extraídos del pacientes con pinzas e inmediatamente colocados dentro de blindajes plomados y almacenados. La exposición radioactiva es proporcional al tiempo de exposición y a la distancia. Cuanto más lejos del objeto radioactivo y menor sea el tiempo en contacto con él, menor será la exposición.

### ANEXO 3

#### CONSECUENCIAS MÉDICAS DE UNA EXPLOSIÓN NUCLEAR

Una explosión nuclear mata por:

- la onda expansiva
- calor
- la radiación inicial, liberada durante el proceso de fisión
- el fallout

Dentro de un radio de 1.000 metros de una explosión nuclear de 10 kilotonnes habrá un gran número de víctimas debido a la onda expansiva, el efecto térmico y la radiación inicial.

Hasta los 1.000 metros del epicentro de la explosión la mayor mortalidad será causada por la onda expansiva y el calor.

Entre 1 y 10 Km del epicentro, el fallout radioactivo será la causa de mortalidad y morbilidad.

Los efectos de la explosión son tan rápidos que no hay medidas de protección para las personas dentro del radio de acción de una bomba nuclear.

La protección contra el fallout es el blindaje. En un sótano de una casa de material, la radioactividad será un menor del 50% que al aire libre.

Las personas deben protegerse dentro de los edificios, preferiblemente en sótanos. Deben cerrarse las ventanas

y la ventilación con aire exterior. Las bebidas que consuman deben ser embotelladas y los alimentos preferentemente enlatados hasta que haya información e instrucciones. Deben tratar de mantenerse informadas sobre la situación sin intentar movilizarse ni hacer evacuaciones masivas que lo único que causará será confusión, mayor exposición al fallout, congestión de tránsito e impedimento de la llegada del personal de auxilio.

El personal de auxilio en la zona de desastre debe concurrir provisto de dosímetros y no entrarán en la zona si la exposición esperada a cuerpo entero es mayor de 500 mSv (50 rems).

Hasta 500 mSv no habrán efectos agudos provocados por la radiación. En estos niveles de radiación sólo puede esperarse un muy leve aumento del riesgo de cáncer.

Si la exposición detectada alcanza a 10 mrems/hora (0.1 mSv) se continuarán con las medidas de rescate pero se dará intervención a personal especializado en radiaciones.

Si la exposición llega a 10 rems/hora o 0.1 Sv/hora deben interrumpirse las tareas de rescate hasta que el área sea controlada nuevamente.

La suspensión de las tareas de rescate a 0.1 Sv/hora es un límite sumamente conservador ya que a esos niveles de exposición, se podría trabajar en el área hasta 5 horas, sin que se supere el límite de 500 mSv inicialmente previsto.

#### ANEXO 4

##### EXPOSICIÓN PRENATAL A LAS RADIACIONES

El embrión humano está dentro del útero y las dosis de radiación que recibe el feto tienden a ser menores que la dosis que recibe su madre, en la mayoría de las situaciones de exposición a las radiaciones.

Sin embargo, el feto es particularmente sensible a las radiaciones ionizantes y las consecuencias para su salud pueden ser muy graves, aún en dosis que en su madre no producen ningún efecto.

El daño producido en el feto por las radiaciones incluyen malformaciones, retardo de crecimiento, daño cerebral y cáncer.

##### ESTIMACIÓN DE LA DOSIS RECIBIDA POR EL EMBRIÓN

Cuando la fuente de exposición es externa, se puede calcular la exposición fetal determinando la dosis al abdomen de la madre.

Cuando la radiación es causada por contaminación interna, el estimado de la dosis fetal es más complejo.

Si una mujer embarazada inhala o ingiere una sustancia radioactiva que es luego absorbida y pasa a la circulación sanguínea, el feto puede incorporar el material radioactivo a través de la placenta. La placenta actúa como una barrera para algunas sustancias pero muchas otras pasan desde la circulación materna a la circulación fetal. Adicionalmente, si el material radioactivo es eliminado por los riñones, la radioactividad en vejiga irradiará al feto.

Hay radionucleidos que se localizarán en órganos específicos del feto (iodo radioactivo en la tiroides, hierro 59 en el hígado, galio 67 en bazo, estroncio 90 e ytrio 90 en esqueleto). En esos casos, deben calcularse las dosis recibidas por los órganos blanco.

Una vez que la dosis fetal ha sido estimada, se pueden predecir los efectos potenciales sobre la salud.

Hay efectos inmediatos (muerte fetal o malformaciones) y efectos tardíos (riesgo aumentado de cáncer)

**Tabla 1: Efectos potenciales de la exposición prenatal a las radiaciones ionizantes (no incluye cáncer)**

Dosis Aguda de radiación al embrión	Edad Gestacional				
	Blastogénesis	Organogénesis	Fetogénesis		
	(hasta 2 semanas)	(2 -7 semanas)	(8-15 semanas)	(16 -25 semanas)	(26 -38 semanas)
< 0.05 Gy (5 rads) $\pm$	No hay efectos sobre la salud detectables				
0.05-0.50 Gy (5-50 rads)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Puede aumentar la frecuencia de fracaso en el implante del embrión, pero los fetos que sobreviven probablemente no tendrán ningún efecto sobre la salud (excluyendo el riesgo de cáncer tardío)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aumenta levemente la incidencia de malformaciones graves.</li> <li>Posible retardo de crecimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Posible retardo de crecimiento.</li> <li>Posible disminución del CI (hasta 15 puntos, dependiendo de la dosis).</li> <li>Hasta 20% de incidencia de severo retraso mental, dependiendo de la dosis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Muy improbable que ocurran efectos sobre la salud no relacionados con cáncer en años posteriores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Muy improbable que ocurran efectos sobre la salud no relacionados con cáncer en años posteriores.</li> </ul>



<p>&gt; 0.50 Gy (50 rads) <i>A estas dosis, la madre puede sufrir síntomas y signos de síndrome agudo de radiación, dependiendo de su irradiación a cuerpo entero.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gran incidencia de fracaso en el implante del embrión, dependiendo de la dosis. Los embriones que sobrevivan probablemente no tendrán alteraciones significativas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento de la incidencia de abortos, dependiendo de la dosis.</li> <li>Riesgo importante de malformaciones importantes (neurológicas y motoras).</li> <li>Probable retraso de crecimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento de la incidencia de abortos, dependiendo de la dosis.</li> <li>Probable retardo de crecimiento.</li> <li>Posible reducción del CI (&gt; de 15 puntos), dependiendo de la dosis.</li> <li>&gt; del 20% de incidencia de severo retardo mental, dependiendo de la dosis</li> <li>Probable aumento de la incidencia de malformaciones mayores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Puede aumentar la frecuencia de abortos, dependiendo de la dosis.</li> <li>Posible retardo de crecimiento, dependiendo de la dosis.</li> <li>Posible reducción del CI, dependiendo de la dosis.</li> <li>Posible severo retardo mental, dependiendo de la dosis.</li> <li>Puede aumentar la incidencia de malformaciones mayores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Probablemente aumentará la incidencia de abortos y muerte neonatal, dependiendo de la dosis.</li> </ul>
--	---	--	---	---	--

**Nota:** Esta tabla solo será utilizada como guía de orientación. Las dosis indicadas y las edades gestacionales son aproximaciones.

- \* Dosis aguda: dosis recibida en un corto tiempo (usualmente minutos).
- \* Dosis fraccionadas o crónicas: son dosis recibidas en el curso del tiempo.
- \* La radiación por protones o neutrones produce muchos de los efectos descritos en la tabla a los niveles más bajos de dosis absorbidas.
- ++ La dosis necesaria para matar al 100% de los embriones o fetos, antes de la 18 semana de gestación es de aproximadamente 5 Gy (500 rads).
- @ Para adultos, la dosis necesaria para matar al 50% de la población expuesta en 60 días (LD50/60) es de aproximadamente 3-5 Gy (300 a 500 rads) y la necesaria para matar al 100% de los individuos (LD100) es de alrededor de 10 Gy (1.000 rads)

La edad gestacional y las dosis de radiación son importantes determinantes de los efectos sobre la salud no relacionados con el cáncer.

#### ANTES DE LAS 2 SEMANAS DE GESTACIÓN

Los efectos de una exposición > de 0.1 Gy o 10 rads es la muerte del embrión. Si el embrión sobrevive, es improbable que haya alteraciones fetales producidas por la radiación, *independientemente de la dosis de radiación recibida.*

Como el embrión en este estadio está constituido por unas pocas células, el daño de una célula, progenitora de muchas otras células, puede causar la muerte del embrión y el blastocisto no se implanta en el útero. Los embriones que sobreviven prácticamente no tendrán malformaciones.

En todos los estados de la gestación, no hay evidencias de alteraciones para dosis fetales menores de 0,05 Gy (5 rads).

En roedores se observa un pequeño riesgo de alteraciones en el sistema nervioso central en dosis entre 0,05 Gy 0,10 Gy (5 a 10 rads), en algunos estadios de la gestación.

Desde el punto de vista práctico, el umbral para alteraciones congénitas en el feto humano está entre 0,10 y 0,20 Gy (10 a 20 rads)

*Desde la semana 16 de gestación, las malformaciones inducidas por la radiación son improbables en dosis menores de 0,50 Gy (50 rads).*

Aunque algunos investigadores sugieren que hay una pequeña probabilidad de afectación de la función cerebral en dosis superiores a 0,10 Gy (10 rads) entre la 16 y 25 semanas de gestación, la mayoría concuerda en que el umbral para malformaciones congénitas en el feto humano de 16 semanas está en 0,50 a 0,70 Gy (50 a 70 rads)

El fracaso del implante del blastocisto no irradiado es alto, probablemente entre 30 a 50%. Una vez que el embrión se implanta, la frecuencia de aborto durante el resto del embarazo baja a 15%.

Datos de sobrevivientes de la bomba atómica mostraron un retardo permanente del crecimiento físico proporcional al aumento de la dosis de radiación, especialmente por encima de 1 Gy (100 rads).

Este retardo de crecimiento es más acentuado cuando la exposición ocurre en las primeras 13 semanas de gestación.

La altura final a los 18 años puede ser un 3 a 4% menor, cuando la dosis fue mayor de 1 Gy (100 rads).

Cuando la exposición ocurre entre 8 y 15 semanas de gestación, la radiación puede afectar el desarrollo cerebral. Se ha calculado una pérdida de 25-31 puntos de CI por cada Gy (100rads), por encima de 0,1 Gy (10 rads).

El riesgo de severo retardo mental es de aproximadamente 40% por Gy (por 100 rads), por encima de 0,1 Gy (10 rads).

El sistema nervioso central es menos sensible entre 16-25 semanas de gestación, pero pueden ocurrir alteraciones

nes similares a dosis mayores de radiación.

Si ocurriere captación fetal de iodo radioactivo, puede ocurrir daño severo de la función tiroidea fetal y producirse cretinismo. La tiroides fetal es muy activa luego de las 16 semanas de gestación y concentrará el iodo radioactivo en forma similar que la tiroides materna.

Después de la semana 26 de gestación, el feto es menos sensible a los efectos sobre la salud no relacionados con la incidencia de cáncer. Sin embargo, a dosis mayores de 1 Gy (100 rads), aumentan los riesgos de aborto y muerte neonatal (dentro de los 28 días del nacimiento).

#### EFFECTOS CARCINOGENICO POTENCIALES DE LA EXPOSICIÓN PRENATAL A LAS RADIACIONES

Riesgo estimado de cáncer causado por exposición prenatal a la radiación		
Dosis de Radiación	Incidencia estimada de cancer en la infancia* †	Incidencia estimada de cáncer durante toda la vida‡ &
Ausencia de exposición a la radiación por encima del BKG natural	0.3%	38%
0.00–0.05 Gy (0–5 rads)	0.3%–1%	38%–40%
0.05–0.50 Gy (5–50 rads)	1%–6%	40%–55%
> 0.50 Gy (50 rads)	> 6%	> 55%

\* Datos publicados por la International Commission on Radiation Protection

+ La mortalidad infantil por cáncer es aproximadamente el 50% de la incidencia de cáncer en la infancia.

++ No se conoce el riesgo de cáncer en toda la vida como consecuencia de la exposición prenatal a la radiación; Los estimados de riesgo son de japoneses de sexo masculino expuestos a la radiación a la edad de 10 años (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation)

& La mortalidad por cáncer es aproximadamente un tercio de la incidencia de cáncer.

Los riesgos carcinogénicos son estimados como constantes durante toda la gestación. No hay evidencias que indiquen que algún período gestacional sea más sensible que otros a los efectos carcinogénicos.

Se han estimado los riesgos de cáncer infantil debido a la irradiación prenatal pero no hay estimación del riesgo de cáncer durante toda la vida.

Aparentemente, los riesgos de cáncer en el curso de toda la vida, luego de la irradiación prenatal, es similar al riesgo luego de la irradiación en la infancia.

*La publicación ICRP-84, Embarazo e Irradiación Médica, de la Comisión Internacional de Radioprotección*, divulgada en la Argentina por la Sociedad Argentina de Radioprotección y la Sociedad Española de Protección Radiológica es una excelente referencia en español, actualizada y conceptualmente muy clara y precisa.

Se agrega información de irradiación en el embarazo relacionada con el uso médico de las radiaciones porque completa la información y puede servir como referencia comparativa.

Aunque muchos de los criterios ya han sido expuestos precedentemente, es útil reiterar algunos conceptos.

- la irradiación de las gónadas de cualquiera de los padres *previa* a la concepción no se asocia con aumento de la incidencia de malformaciones o cáncer en sus hijos.

- hijos y nietos de sobrevivientes de bombas atómicas no tuvieron ninguna alteración que pueda ser atribuida al efecto de las radiaciones en sus padres o abuelos.

- En estudios experimentales se encontró que los ovocitos maduros eran más sensibles a la radiación que los inmaduros. Con ese fundamento y con criterio absolutamente conservador, se ha recomendado que las mujeres que cuyos ovarios hayan recibido 500 mGy (50 rads) o más, no queden embarazadas en al menos los 2 meses siguientes.

- ***no se ha demostrado que dosis fetales menores de 100 mGy (10 rads) causen ningún daño al feto.*** A dosis superiores podría haber algún daño fetal, dependiendo de la dosis y de la edad gestacional.

- en radiología diagnóstica, las dosis a las que puede estar expuesto el feto son menores de 50 mGy. Esta es la razón por la no se solicitan tests de embarazo antes de someter a las pacientes a estudios radiológicos diagnósticos. En caso de embarazo conocido la utilización del estudio diagnóstico debe ser decidido en función de su indicación e información que se obtendrá. El abdomen y pelvis de la paciente deben ser protegidos con blindaje plomado. Las técnicas radiológicas serán adaptarán para reducir al máximo la exposición. En esa situación el estudio radiológico tendrá por objetivo resolver un problema clínico específico. No están indicados los estudios radiológicos rutinarios de chequeo.

- debe tenerse en cuenta que los cálculos de exposición fetal son aproximados. En comparaciones dosimétricas para distintos exámenes radiodiag

noticos, aún en el mismo país, se han encontrado variaciones de dosis para un mismo examen de un factor de 30 y mayor (variaciones de los Kvp, filtros, utilización de grilla antidifusora, tipo de tubo de rayos X, combinación película-pantalla reforzadora, etc.

- la anatomía de la paciente, la anteversión o retroversión del útero e incluso la distensión uterina, son factores que influyen en la exposición fetal a la radiación externa.

#### DOSIS FETALES APROXIMADAS EN RADIODIAGNÓSTICO (ICRP-84)

Examen	Dosis Promedio (mGy)	Dosis Máxima (mGy)
Rx de abdomen	1,4	4,2
Rx de tórax	< 0,01	<0,01
Urograma excretor	1,7	10
Rx de columna lumbar	1,1	4
Rx de pelvis	1,1	4
Rx de cráneo	< 0,01	< 0,01
Rx de columna dorsal	< 0,01	< 0,01
Radioscopia gastroduodenal	1,1	5,8
Colon por enema	6,8	24
TAC de abdomen	8,0	49
TAC de tórax	0,06	0,96
TAC de cabeza	< 0,005	< 0,005
TAC de columna lumbar	2,4	8,6
TAC de pelvis	25	79

#### PROBABILIDAD DE DAR A LUZ UN NIÑO SANO, EN FUNCIÓN DE LA DOSIS DE RADIACIÓN RECIBIDA EN EL EMBARAZO

Dosis absorbida por el embrión (mGy)	Probabilidad de que el niño NO tenga malformaciones (%)	Probabilidad de que el niño NO tenga malformaciones (%) (*)
0	97	99,7
0,5	97	99,7
1,0	97	99,7
2,5	97	99,7
5	97	99,7
10	97	99,6
50	97	99,4
100	cerca de 97 (+)	99,1

ICRP-84

(\*) Valores redondeados. Se asume un riesgo de cáncer debido a la radiación de 0,6% por 100 mGy lo que corresponde a 1/17.000 por mGy y presumiendo un relación lineal dosis-repuesta. El riesgo real es mucho menor del presumido en la tabla porque la filosofía es la de máxima protección. El riesgo natural de cáncer infantil se calculó a partir del NCI-SEER (1994)

(+) Los datos en animales hacen presumir que entre 100-200 mGy no hay malformaciones causadas por la radiación. Con mayores dosis de radiación, las malformaciones pueden observarse si la irradiación ocurre entre la 3ra. y 25ava. semana del embarazo.

#### DOSIS FETALES (EXPOSICIÓN CORPORAL TOTAL) DEBIDO A IRRADIACIÓN DESDE LOS TEJIDOS MATERNO Y EL RADIOFÁRMACO INCORPORADO EN LOS TEJIDOS FETALES (IRCP-84)

Radiofármaco	Estudio	Actividad administrada (MBq/mCi)	Dosis (mGy)	
			Embarazo temprano	A 9 meses de embarazo
99mTecnecio	Oseo/difosfonato	750/20	4,6-4,7	1,8
99mTecnecio	Pulmón/Perfusión	200/5	0,4-0,6	0,8
99mTecnecio	Pulmón/Ventilación	40/1	0,1-0,3	0,1
99mTecnecio	Tiroides/Pertecneciato	400/10	3,2-4,4	3,7
99mTecnecio	Glóbulos rojos marcados	930/25	3,6-6,0	2,5
99mTecnecio	Hígado/coloide	300/8	0,5-0,6	1,1
99mTecnecio	Renal /DTPA	750/20	5,9-9,0	3,5
67 Galio	Rastreo corporal	5	14-18	25
131 Iodo	Captación tiroidea	0,55/14 µCi	0,03-0,04	0,15
131 Iodo	Rastreo corporal	1	2,0-2,9	11

Las dosis a la tiroides con yodo radioactivo son mucho mayores que las de la exposición corporal total: 0,5-1,1 Gy/MBq (18,5 a 40,7 Gy/mCi) para 131-yodo  
5-15 mGy/MBq (185 a 555 mGy/mCi) para 123 yodo

## EXPOSICIÓN FETAL A LAS RADIACIONES POR PROCEDIMIENTOS DE MEDICINA NUCLEAR

- la mayoría de los estudios diagnósticos de medicina nuclear utilizan  $^{99m}\text{Tc}$  y causan una exposición fetal mínima. Dado que el material radioactivo puede ingresar al feto a través de la placenta, no se indican estudios de medicina nuclear en embarazadas a menos que la omisión del estudio signifique un riesgo para la paciente.
- los radionucleidos en la madre contribuyen a la dosis fetal por irradiación desde los tejidos maternos (vejiga, intestino, sangre, etc.). Algunos radionucleidos atraviesan la placenta e ingresan en los tejidos fetales produciendo irradiación a algunos órganos en particular que reciben mayor exposición que el resto del cuerpo (órganos blancos). Este es el caso del yodo radioactivo que es captado por la tiroides fetal.
- los procedimientos diagnósticos con  $^{99m}\text{Tc}$ -pertecnecio no constituyen riesgo para el feto. En el caso de que una mujer tuvo un estudio diagnóstico y se entera luego que está embarazada se le informará que el feto no tiene ningún riesgo de malformaciones o de incidencia aumentada de cáncer en la infancia.
- en el caso de que haya que hacer un estudio diagnóstico con  $^{99m}\text{Tc}$  en una mujer embarazada, se le informará del potencial efecto nocivo de las radiaciones, de que el riesgo es bajo y se adecuará la técnica para minimizar la dosis fetal (hidratación abundante, micciones frecuentes y se utilizará la dosis más baja de radionucleido compatible con el tipo de estudio).
- los tratamientos con radionucleidos no deben ser utilizados en la mujer embarazada. Usualmente se espera la terminación del embarazo para su aplicación.
- el yodo radioactivo atraviesa la placenta y se fija en la tiroides fetal. A las 10 semanas de edad gestacional, la tiroides fetal ya tiene capacidad de captar y concentrar yodo.
- las mujeres tratadas con radionucleidos pueden quedar embarazadas cuando la dosis fetal sea menor de 1 mGy. En tratamientos con yodo  $^{131}\text{I}$  se aconseja evitar el embarazo por al menos 6 meses luego del tratamiento. En realidad, más que por la irradiación fetal, los 6 meses son necesarios para evaluar la respuesta al tratamiento porque pueden ser necesarias dosis adicionales de yodo  $^{131}\text{I}$ .
- el tiempo post-tratamiento en que se aconseja evitar el embarazo variará con otros radionucleidos:  $^{32}\text{P}$ -fósforo (3 meses),  $^{89}\text{Sr}$ -estroncio (24 meses),  $^{131}\text{I}$ -metaiodobencilguanidina (3 meses).
- los pacientes en los que se hicieron estudios diagnósticos de medicina nuclear no representan ningún riesgo para las pacientes embarazadas o niños (dosis total entre 0,02-0,25 mGy a 0,5 metros del paciente).
- los pacientes tratados con material radioactivo deben seguir instrucciones especiales para evitar la irradiación de las mujeres embarazadas con las que convivan. Se ha calculado que la dosis por exposición externa que recibirá una persona que permanezca a una distancia de 0,5 metros del paciente hasta que la radioactividad decaiga totalmente es aproximadamente 1,3 mGy en el caso del tratamiento del hipertiroidismo y de 6,8 mGy en un paciente tratado por cáncer tiroideo.
- si dentro de las 12 horas después de la administración de yodo radioactivo se conociera que la paciente está embarazada, se administrará 60 a 130 mgr de yoduro de potasio para bloquear la captación tiroidea. Adicionalmente se indicará hidratación abundante y micciones frecuentes para disminuir la irradiación fetal desde los tejidos maternos.
- La interrupción del embarazo debido a la exposición a las radiaciones no es una posibilidad en la Argentina porque está prohibido por la ley.

## Bibliografía

1. Terrorism using radioactive materials. 50<sup>th</sup> Annual Meeting – Society of Nuclear Medicine - Henry D. Royal, Division of Nuclear Medicine Mallinckrodt Institute of Radiology. Associate Professor of Radiology, Washington University School of Medicine. St. Louis MO
2. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention website. Available at [www.cdc.gov/nceh/radiation/ki.htm](http://www.cdc.gov/nceh/radiation/ki.htm)
3. FDA “Guidance, Potassium Iodide as a Thyroid Blocking Agent in Radiation Emergencies,” Dec 2001, 12pp. Available at [www.fda.gov/cder/guidance/4825fnl.pdf](http://www.fda.gov/cder/guidance/4825fnl.pdf)
4. FDA “Home Preparation Procedure for Emergency Administration of Potassium Iodide Tablets to Infants and Small Children. Available at [www.fda.gov/cder/drugprepare/kiprep.htm](http://www.fda.gov/cder/drugprepare/kiprep.htm)
5. Health Physics Society Newsletter, Oct. 2002; The Medical Newsletter, Vol. 44, 2002. Available at [www.medicalletter.com](http://www.medicalletter.com)
6. Miller, K, Coen, P, White, W, Hurst, J, Achey, B, and Lang, M “Effectiveness of skin Absorption of Tincture of I in Blocking Radioiodine from the Human Thyroid Gland. Health Physics 56 (6): 911-914, 1989.
7. Mooly, K, Miller, K, White, W, Hurst, W, and Lang, M. “The Effectiveness of Topical Povidone I Solution on Serum Iodide Levels and Thyroid Uptake of I-131 in Dogs.” Health Physics 55(1): 9-13, 1988.
8. NCRP Report 65, *Management of Persons Accidentally Contaminated with Radionuclides*, National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD, 1980.
9. NCRP Report 138, *Radiation Protection and Terrorism*, National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda MD, 2002.
10. World Health Organization, “Guidelines for Iodine Prophylaxis Following Nuclear Accidents,” update 1999, 30pp. Available at [www.who.int/environmentalinformation/informationresources/ documents/iodine/guide.pdf](http://www.who.int/environmentalinformation/informationresources/documents/iodine/guide.pdf)
11. Wasserman TH, Phillips TL, Ross G, et al. Differential protection against cytotoxic chemotherapeutic effects on bone marrow CFU’s by WR-2721. Am J Clin Oncol 1981; 4:3-6.
12. Carnes BA, Grdina DJ. In vivo protection by the Aminothiols WR-2721 against neutron-induced carcinogenesis. Int J Radiat Biol, 1992; 61: 567.
13. Grdina DJ, Kataoka Y, Basic I, and Perrin J. The radioprotector WR-2721 reduces neutroninduced mutations at the hypoxanthine-guanine phosphoribosyl transferase locus in mouse splenocytes when administered prior to or following irradiation. Carcinogenesis, 1992; 13, 811.
14. Brizel DM, Wasserman TH, Henke M, et al. Phase III randomized trial of Amifostine as a radioprotector in head and neck cancer. J Clin Oncol 2000; 18:339-45.
15. Antonadou D, Coliarakis N, Synodinou M, et al. Randomized phase III trial of radiation ± Amifostine in patients with advanced stage lung cancer [Abstract]. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1999; 45(suppl): 113.
16. Coia L, Krigel R, Hanks G, et al. A phase I study of WR-2721 in combination with total irradiation (TBI) in patients with refractory lymphoid malignancies. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1992; 22:791-794.
17. Liu T, Liu Y, He S, et al. Use of radiation with or without WR-2721 in advanced rectal cancer. Cancer 1992; 69:2820-25.
18. Koukourakis MI, Kyrias G, Kakolyris S, et al. Subcutaneous administration of amifostine during fractionated radiotherapy: a randomized phase II study. J Clin Oncol 2000; 18:2226-33.
19. Grdina DJ, Nagy B, Sigdestad CP. Radioprotectors in treatment therapy to reduce risk in secondary tumor induction. Pharmac Ther 1988; 39:21-25.
20. Milas L, Hunter N, Stephens LC, Peters LJ. Inhibition of radiation carcinogenesis in mice by S-2-(3-Aminopropylamino)-ethylphosphorothioic acid. Cancer Res 1984; 44:5567-69.
21. Consensus Report on the Use of the Radioprotector Ethiol® (Amifostine) for Planned Radiation Exposures During Emergencies. REAC/TS conference convened at the request of Secretary of Energy, Hazel O’Leary, in Bethesda, MD, August 15-16, 1996.
22. NCRP Report 65, *Management of Persons Accidentally Contaminated with Radionuclides*, National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD, 1980.
23. Voelz, G. Los Alamos National Laboratory. Personal communication.
24. Breitenstein BD Jr, Fry, SA and Lushbaugh, CC. «DTPA therapy: The U.S. Experience 1958-1987.» In: Ricks R and Fry SA, Eds, *The Medical Basis of Radiation Accident Preparedness, 2nd ed.*, Elsevier Science Publishing Co., Inc., 1990; 397-406.
25. Breitenstein, BD. 1976 Hanford Americium exposure incident: medical management and chelation therapy. Health Phys, 1983; 45:4; 855-66.
26. Richmond, CR. Accelerating the Turnover of Internally Deposited Radiocesium. In: Kornberg HA and Norwood WD, Eds. *Diagnosis and Treatment of Deposited Radionuclides*. Excerpta Media Foundation,
27. Goans RE. Clinical Care of the Radiation Accident Patient: Patient Presentation, Assessment and Initial Diagnosis. In Ricks RC, Berger ME, O’Hara FM, Eds. *The Medical Basis for Radiation-Accident Preparedness. The Clinical Care of Victims*. Proceedings of the Fourth International REAC/TS Conference on the Medical Basis for Radiation-Accident Preparedness, March 2001, Orlando, FL, The Parthenon Publishing Group, 2002.
28. Fliedner TM, Tibken B, Hofer EP, Paul W. Stem cell responses after radiation exposure: a key to the evaluation and prediction of its effects. Health Phys 1996; 70:787-97.

29. The National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP) Report No. 128 "Radionuclide Exposure of the Embryo/Fetus"
30. <http://www.crcpd.org/contact.asp> (irradiación fetal)
31. <http://www.hpsl.org/aaahp/members/members.htm> (irradiación fetal)
32. National Council on Radiation Protection and Measurements, NCRP Report No. 128: Radionuclide Exposure of the Embryo/Fetus, Bethesda, Maryland: NCRP, 1998.
33. Schull WJ, Effects of Atomic Radiation, A Half-Century of Studies from Hiroshima and Nagasaki. New York: Wiley-Liss & Sons, Inc., 1995.
34. Valentin J, Editor, Annals of the ICRP, Publication 84: Pregnancy and Medical Radiation, International Commission on Radiological Protection, Volume 30, No. 1. Tarrytown, New York: Pergamon, Elsevier Science, Inc., 2000.
35. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. New York: United Nations Publications, 2000.
36. Gusev I A, Guskova AK, Mettler FA, Jr. Medical Management of Radiation Accidents, 2nd ed. New York: CRC Press, Inc., 2001.
37. Press, Inc., 2001.
38. Hiroshima International Council for Medical Care of the Radiation-Exposed, Editors. Effects of A-Bomb Radiation on the Human Body. Chur, Switzerland: Harwood Academic Publishers, 1995.
39. National Radiological Protection Board, Documents of the NRPB, Volume 4, Number 4: Board Statement on Diagnostic Medical Exposures to Ionizing Radiation During Pregnancy, Chilton, Didcot, Oxon, United Kingdom: NRPB, 1993.
40. Wagner LK, Lester RG, Saldana LR, Exposure of the Pregnant Patient to Diagnostic Radiations, A Guide to Medical Management, 2nd ed. Madison, Wisconsin: Medical Physics Publishing, 1997.
41. ICRP-84 International Commission on Radiological Protection
42. Seguridad Radiológica. Nro. 15 marzo 1997. ISSN 0327-3849